

# C-밴드 GaAs MESFET 발진기의 광 응답 특성 (Optical Response Characteristics of C-Band GaAs MESFET Oscillators)

張 隴 聖\*, 李 承 燁\*, 朴 漢 奎\*, 朴 賢 澈\*\*

(Yong Seong Jang, Sung Yup Rhee, Han Kyu Park, and Heun Chul Park)

### 要 約

본 논문에서는 GaAs MESFET 발진기의 광 응답 특성을 조사하기 위하여, C-밴드 발진기를 설계 제작하여 광을 입사시킨 경우 발진기의 응답 변화를 나타내었다.

발진기에 DC광을 입사하므로써 본 실험의 두 가지 응용, 즉 발진 주파수 변이 및 광 스위칭 실험을 수행하였다.

발진기에 1 (mW/mm<sup>2</sup>)의 광을 입사하였을 때, 발진 주파수는 약 1(%) 정도 감소하였고 발진기 출력 및 효율을 약간 증가하였다. 출력에 있어서의 이러한 증가는 약 1~3 (dBm) 정도로 나타났다. 이러한 결과로부터 DC광을 입사한 경우의 발진기 응답에 의해 마이크로파 소자의 광 민감도(Light Sensitivity)에 대한 정보를 알 수 있으며, 한편 Pulse 광에 대한 발진기의 과도 응답으로 부터는 상세한 광-전기 상호 작용 관계를 해석할 수 있다. 이와 같이 GaAs 반도체 화합물이 지니는 여러 성질 중에서 광 효과를 이용함으로써 광에 의하여 마이크로파 소자를 직접 제어할 수 있음을 입증하였다.

### Abstract

In this thesis, to verify input-output characteristics of GaAs MESFET, light is illuminated to C-band oscillator which already designed and manufactured, thus input-output variation of GaAs MESFET is to be shown.

Experimental results of two kinds of optical effects, optical tuning and optical switching, of GaAs MESFET Oscillators are presented.

For optical tuning, the Oscillation frequency decreases with optical illumination and the Oscillator power output generally increases with optical illumination, the increase being around 1 to 3 dBm at 1mW/mm<sup>2</sup> light intensity.

While the DC-light illuminated Oscillator response data provide information of the optical sensitivity of GaAs-MESFET Oscillators. Pulse-light illuminated transient response data can be invoked to understand the detailed optical-electrical interaction mechanisms response.

Thus, it is shown that direct control of micro-devices is realisable, if we use optical effect of GaAs semiconductor compound.

\*正會員, 延世大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)

\*\*正會員, 三星電子綜合研究所  
(Samsung Advanced Institute of Technology)  
接受日字: 1989年 7月 24日

### I. 서 론

GaAs(Gallium Arsenide) MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit) 기술의 발달과 미래의 항공기 적재 능동 위상 배열 안테나(Active Phased Ar-

ray Antenna) 시스템은 고해상도 및 정확도를 갖도록 하기 위해  $10^4 \sim 10^5$ 개의 많은 송수신 모듈로 구성한다.

이러한 MMIC 회로는 송신 모듈의 동기 및 수신 모듈에 있는 국부 발진기를 위상동기(phase-locking)시키기 위한 phase-coherent 한 기준 신호를 필요로 한다. 그러나 중앙 처리 장치가 코히어런트한 RF 신호 및 디지털 명령 신호를 분배하기 위해 사용하고 있는 기존의 도파관 및 동축 케이블은 어레이 시스템을 불가피하게 크고 무겁고 복잡하게 한다.

그러므로, 가벼운 fiber-optic(FO) 링크를 이용하여 제어 신호를 분배하므로써 이러한 문제점들을 해결할 수 있을뿐만 아니라 손실, 누화, 전자기 간섭도 또한 배제할 수 있다.<sup>[5]</sup>

최근 반도체 소자 기술의 발달로 반도체 다이오드(LED, LD)는 마이크로파의 전기적인 신호를 광 신호로 직접 변조시킬 수 있다. GaAs MESFET 소자의 광에 의한 직접 제어 기술은 증폭기의 이득 조절 및 위상 변환기의 위상변이(phase shifting), 그리고 발진기의 발진 주파수 튜닝 또는 phase locking 을 가능하게 한다.

FO 링크에 의한 직접적인 광 제어 기술을 위상 배열 안테나에 이용하고자 하는 발전된 위상 배열의 개념은 향후 우주 통신 시스템에 응용하기 위해 최근 활발히 연구되고 있다.

GaAs MESFET 소자의 광에 의한 특성 변화 및 광 제어에 대한 연구는 1977년 C. Baak<sup>[11]</sup>가 고속 광 검출 소자로 이용할 수 있음을 보인 이래로 1978년에는 Pan<sup>[12]</sup>이 소자의 활성 영역에 입사시켜 주는 광의 세기를 변화시킬 때 FET 발진기의 발진 주파수가 변화됨을 관측하였고 1979년 J. Graffeuil<sup>[13, 14]</sup>은 광 입사에 따른 FET의 DC 특성 변화를 규명하였다.

그리고 최근 1987년도에는 R. B. Darling<sup>[15]</sup>은 광을 입사한 경우 이득 및 대신호 특성에 미치는 효과를 연구하였으며, 이러한 광 효과의 새로운 응용 분야로서 최근 활발히 연구되고 있는 optical-injection locking<sup>[16, 18]</sup> 기술에 의한 발진기의 FM잡음 감소에 관한 연구를 Daryoush가 연구중에 있다. 또한 Simons는 HEMT와 MESFET의 광에 의한 마이크로파 성능을 연구 비교하였다.<sup>[6]</sup>

이들의 연구 결과를 종합해보면 광 응답 효과는 다음과 같은 사실에 근거함을 알 수 있다.

(1) 광에 의해 주입되는 캐리어는 소오스와 드레인 사이의 매질의 전도도를 증가시킨다.

(2) 광에 의해 발생하는 게이트 전류는 게이트 저항에서 전압 강하가 일어나도록 한다. 이러한 전압

강하는 MESFET의 전달콘덕턴스를 통해 드레인 전류에 변화를 초래한다.

(3) 게이트 쇼트키 장벽(Schottky barrier)영역에서의 Photovoltaic 전압은 외부 게이트 저압을 통하여 인가되는데 저항을 통하여스 전압(Vgs)에 중첩된다. 이처럼 중첩되는 총 게이트 전압에 의해 MESFET 등가 회로의 각각의 요소의 값이 변한다.

본 연구에서는 광학적으로 제어되는 GaAs MESFET의 여러 응용 분야중에서 C-밴드 발진기의 발진 주파수 튜닝을 실험적으로 입증하였고, 또한 광 튜닝을 하는 과정에서 발진기의 RF 출력 변동 및 GaAs MESFET 발진기에 대한 광 효과의 새로운 응용으로서 광스위칭을 실험적으로 관측하여 제시하였다.

## II. 발진기 회로 설계 및 제작

광에 의한 GaAs FET 발진기의 응답을 관찰하기 위해 먼저 C-밴드 발진기를 설계 제작하였다 사용된 소자는 게이트 길이  $1(\mu\text{m})$ 의 NE72089A이며, 바이어스  $V_{ds}=3(\text{V})$ ,  $I_{ds}=30(\text{mA})$ 인 조건하에서 소신호 S-파라미터의 값은 다음 표 1 과 같다.

표 1. NE 72089A MESFET의 소신호 S-파라미터

Table 1. Small signal S-parameter of NE 72089A MESFET.

S-MAGN AND ANGLES :

$V_{ds}=3(\text{V})$ ,  $I_{ds}=30(\text{mA})$

S-파라미터	S11	S21	S12	S22
주파수 7(GHz)	0.55	-155.2	18.38	0.11 10 0.50 -97

회로 구성은 직렬 또는 병렬 케환 요소를 첨가하여 설계할 수 있지만 본 실험에서는 그림 1에서와 같이 소오스와 접지 사이에 케환요소를 갖도록 하였다.<sup>[7]</sup>

발진기 설계에 있어서, 먼저 설계하고자하는 발진 주파수에서 잠재적으로 불안정한 TR( $K < 1$ 인 경우)을 선택하거나 케환 소자를 사용( $K > 1$ 인 경우)하여 K값을 감소시킨다.

그 다음에 설계하고자하는 발진 주파수 7(GHz)에서 최적의 리액턴스 X1과 X3를 선택한다.

그림 1의 회로가 발진을 하기 위해서는 X1과 X3

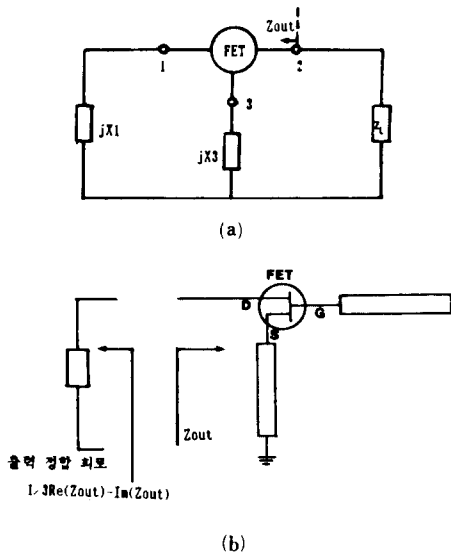


그림 1. 발진기 회로 구성  
 (a) FET 발진기의 등가 회로  
 (b) 분산 요소로 실현한 실제 FET 발진기 회로

Fig. 1. Oscillator circuit construction.  
 (a) simplified equivalent circuit of an FET oscillator.  
 (b) practical FET oscillator circuit with distributed elements.

의 값에 따라 변하는 출력 임피던스의 실수부  $Re(Z_{out})$ 는 음(-)의 값이어야 하고, 최대 출력을 얻기 위해  $Re(Z_{out})$ 가 음의 값으로 최대가 되는  $X1, X3$ 를 컴퓨터로 시뮬레이션하여 선택한다.

그런데, 리액턴스  $X3$ 의 값이 양(+ )이면 DC드레인 전류가 접지로 흐르기 쉽게 단락 회로마이크로 스트립 선로로 실현할 수 있다.

그러므로 회로 실현의 관점으로 부터 보면 음(-)의  $X1$ 과 양(+ )의  $X3$ 의 값을 선택하는 것이 바람직하다.

계산 결과 최적의 리액턴스 값과 이에 대응되는 출력 임피던스  $Z_{out}$ 은 다음과 같다.

$$X1 = 50, X3 = 100 \quad Z_{out} = -116.32 - j210.99$$

소신호 S-파라미터를 이용하여 설계하였기 때문에 최대 출력을 얻기 위해 부하 임피던스  $Z_L$ 은 다음과 같이 선택하여 출력 측 임피던스 정합을 한다.

원하는 발진 주파수에서 공진 조건으로 부터, 부하 임피던스의 허수부  $Im(Z_L)$ 은

$$Im(Z_L) = -Im(Z_{out}) \quad (1)$$

이고, 한편 실수부는

$$Re(Z_L) = \frac{1}{3} |Re(Z_{out})| \quad (2)$$

이다.

위의 조건은  $Re(Z_{out})$ 이 드레인 전류의 크기 증가에 따라 선형적으로 감소할 경우 발진기로부터 최대 출력을 얻을 수 있는 근사 조건이다.

그러므로 식 (1)과 (2)로 부터 부하 임피던스  $Z_L$ 은,

$$Z_L = 38.99 + j210.99 (\Omega)$$

와 같이 결정된다.

이것으로 발진기 설계는 끝나고, 마지막으로 마이크로 스트립 라인을 이용하여 제작하여야 한다.

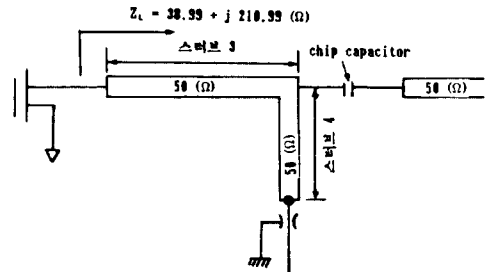


그림 2. 출력 정합회로  
 Fig. 2. output matching circuit.

발진기 회로 구성은 비유전율이 2.45, 두께가 0.762 (mm)인 테플론 파이버 글라스 (teflon fiber glass) 마이크로스트립 기판 위에 MIC 회로로 구현하였다.

아래 그림 3 은 제작한 발진기의 실제로 구성한 사진을 나타내고, 그림 4 는 발진기의 주파수 및 출력을 HP 8566B 스펙트럼 애널라이저를 이용하여 측정한 결과를 나타낸다.

이때 바이어스 전압은  $V_{ds} = 3 (V)$ ,  $I_{ds} = 30 (mA)$  인 상태가 되도록 하였다.

실제 제작한 발진기의 중심 주파수는 7.4306 (GHz), 출력 전력은 2.3 (dBm), 즉 1.7 (mW)로 측정되었으며 효율은 약 2 (%) 정도로 나타났다.

이와 같이 설계한 중심 주파수와 제작한 발진기에서 나온 중심 주파수 사이의 불일치는 MIC 패턴 설계로 인한 기생 효과에 그 원인이 있으며, 이는 패턴을 트리밍하므로써 쉽게 해결할 수 있다.

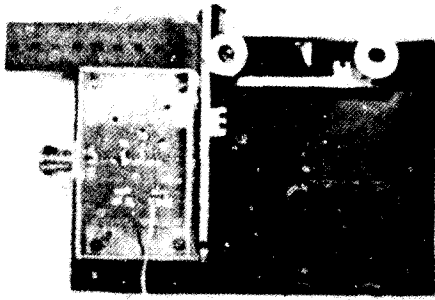


그림 3. 제작한 발진기의 사진  
Fig. 3. Photograph of a manufactured oscillator.

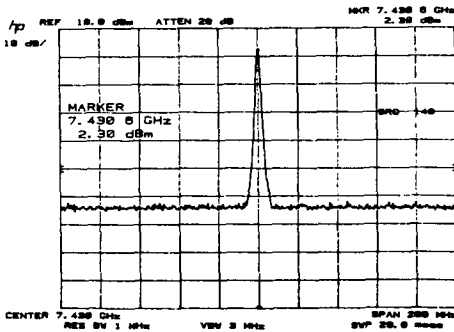


그림 4. 발진기 성능(단, 바이어스 조건 :  
 $V_{ds}=3(V)$ ,  $I_{ds}=30(mA)$ )  
Fig. 4. Oscillator performance(when, Bias condition :  
 $V_{ds}=3(V)$ ,  $I_{ds}=30(mA)$ ).

### III. DC 광을 쬐일 때 발진기의 광 튜닝에 대한 응답

기존의 전기적인 방식과는 달리 광에 의한 튜닝 동작을 관측하기 위하여 제작한 발진기를  $V_{ds}=3(V)$  근처의 포화영역에서 바이어스 시킨다.

그리고 게이트 바이어스 전압은 광을 쬐일 때 최대의 발진 주파수 변화를 얻을 수 있도록 조절한다. 본 실험을 수행하기 위한 시스템 구성은 다음 그림 5와 같다.

파장  $6328\text{\AA}$ 의 He-Ne 레이저에서 나온 광을 공간여파기를 거쳐 가우시안 빔의 분포로 만든 다음 렌즈로 빔을 집속시켜 FET에 입사시켜 준다. 그리고

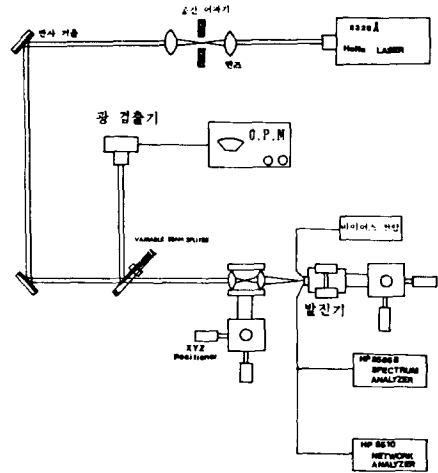


그림 5. 광 튜닝 실험 시스템 구성도  
Fig. 5. Set-up of a optical tuning experiments.

광의 세기는 비임 분할기(Beam Splitter)를 이용하여 조절한다.

표 2는 GaAs MESFET 발진기의 발진 주파수, 발진기 출력 및 드레인 전류 바이어스에 대한 응답을 나타낸다.

표 2. CS mode 발진기의 광 응답(NE 72089A,  $P_{opt}=1mW/mm^2$ )

Table 2. Light response of a CS mode oscillator (NE 72089A,  $P_{opt}=1(mW/mm^2)$ )

DC 바이어스	드레인 전류		출 력			발진 주파수			
	$I_{ds}$	$\Delta I_{ds}$	$P_o$	$\Delta P_o$	$f_{osc}$	$\Delta f_{osc}$			
$V_{ds}$ $V_{gs}$	dar k	light	dark	light	dark	light			
V V	mA	mA	dBm	dBm	GHz	GHz			
3 -0.5	29	35	6	-2.8	-2.4	-0.4	7.385	7.384	0.001

위의 표 2에서 알 수 있듯이 광을 쬐이면 발진 주파수는 항상 감소된다.

그리고 발진기 출력 및 RF 효율은 일반적으로 증가한다. 한편 드레인 전류 바이어스는 광에 의해 증가한다. 입사광의 세기에 따른 발진 주파수, 출력 그리고 드레인 전류 바이어스에 대한 변화를 측정하여 그림 6 및 그림 7에 나타내었다.

광을 입사하였을 때 발진 주파수 변이의 가장 큰 원인은 GaAs MESFET의 게이트와 소오스 사이의 공명영역에서 호울의 포착에 의해서 생기는 커패시

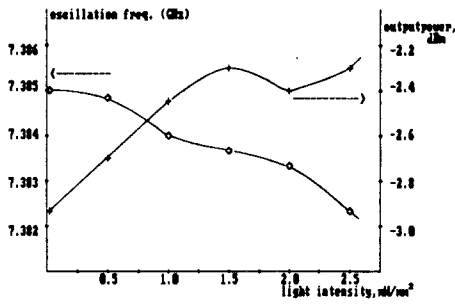


그림 6. 입사광의 세기에 따른  $f_{osc}$ ,  $P_o$  변화  
Fig. 6. Oscillator power and frequency dependence upon light intensity.

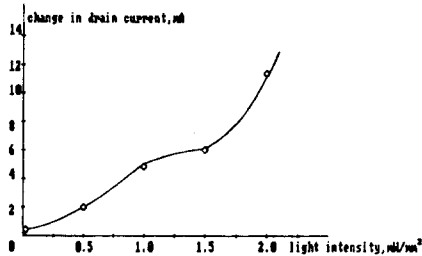


그림 7. 입사광의 세기에 따른 드레인 전류 변화  
Fig. 7. GaAs MESFET oscillator drain current change as a function of light intensity.

턴스  $C_{gs}$ 의 증가에 있다. 본 실험에서 광을 입사하면 발진기의 RF 효율은 일반적으로 광을 입사하지 않았을 때에 비하여 약간 (약 1%) 증가하였다. RF 효율에 있어서의 이러한 증가는 광을 입사하므로써 소자의 기생 드레인 저항 및 소오스 저항 ( $r_d+r_s$ )과 채널 저항 ( $r_c$ ) 등의 약간의 감소에 기인한 것으로 보인다.<sup>12)</sup>

이에 대한 근거로는 저주파 소자를 이용하여 파라미터를 측정하면 위와 같은 결과가 얻어지는 것으로부터 추측된다. 제작한 발진기에 있어서 실제 실험적으로 관측된 출력은 약간의 리플을 지니는데 이에 대한 원인은 광-주파수 민감도(optical-frequency sensitivity)가 높아 회로의 detuning이 높아지기 때문이다. 더우기 광의 세기를 크게하면 출력 부정함에 근거하여 출력이 줄어들기도 한다.

#### IV. DC 광을 켜고 있을 때 발진기의 광 스위칭 동작

광에 의한 스위칭 동작은 광 튜닝과는 전혀 다른

기능을 수행한다. 이상적인 광 스위칭은 발진기의 활성영역에 입사하는 광을 광 음향변환자(AOM)로 스위칭할 때 발진기의 출력이 0이 되든가 아니면 최대 출력을 내도록 동작할 때 얻어진다.

광 스위칭을 수행하는 데는 동작점이 상당히 중요하다.

게이트 바이어스 전압을 핀치오프 상태와 포화 드레인 전류가 흐를 수 있는 상태로 적절히 인가하므로써 최적의 광 스위칭 동작을 얻을 수 있다. 본 실험에서는 두 종류의 광 스위칭 방식을 입증하였다.

한 방법은 광을 입사하면 발진을 일으키는 "optically-on mode"가 있고, 다른 한 방법은 광을 입사하면 발진을 멈추는 "optically-off mode"가 있다. 아래 표 3은 DC 레이저 광원을 개폐(on-off)해줄 때 서로 다른 두가지 방식으로 동작하는 발진기의 성능을 나타낸다.

표 3. DC 레이저 광을 이용한 NE 72089A FET의 광 스위칭

Table 3. Optical switching of NE 72089A FET with DC laser light.

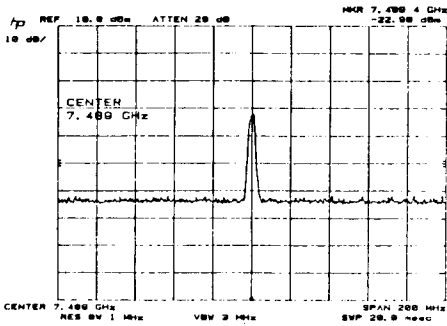
	optically on mode		optically off mode	
	dark	light	dark	light
Vds, V	4.927	3.312	3.050	0.328
Vgs, V	-1.4	-1.531	-0.437	-0.001
Ids, mA	3	34.7	39.86	91.6
Posc, dBm	-	-5	-4.5	-
Fosc, GHz	-	7.4817	6.9	-

표 3에 제시된 바와 같이 약 2(mW/mm²)의 레이저 광원을 입사한 경우 출력 -5(dBm)인 발진기의 개폐(on-off) 스위칭 동작을 얻었다.

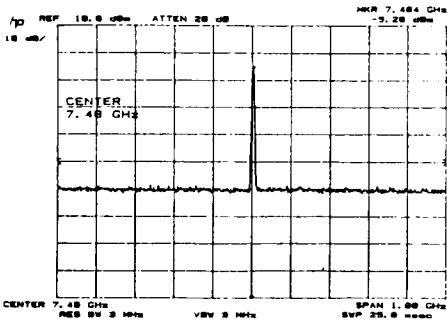
그림 8은 핀치오프가 되도록 바이어스를 인가한 상태에서 0.3(mW) 및 1(mW)의 일정한 세기의 레이저 광을 입사한 경우 발진기의 출력을 나타낸 것이다. 이 때 광을 입사시키지 않은 상태에서는 물론 발진을 일으키지 않는다. 그러나 입사 광의 세기를 0.3(mW)로 하면 그림 (a)에서처럼 발진은 일어나지만 출력이 상당히 낮다. 그림(b)는 입사광의 세기를 1(mW)가 되도록 증가한 상태에서의 발진기 응답을 나타낸 것이다.

이러한 광 스위칭 방식을 그림으로 설명하면 다음과 같이 나타내어진다.

이 그림 9에서 발진범위는 게이트 바이어스 전압



(a)



(b)

그림 8. 발진기의 광 스위칭 응답  
(a) 입사광의 세기 0.3(mW)  
(b) 입사광의 세기 1(mW)

Fig. 8. Optical switching response of a oscillator.  
(a) light intensity 0.3(mW).  
(b) light intensity 1(mW).

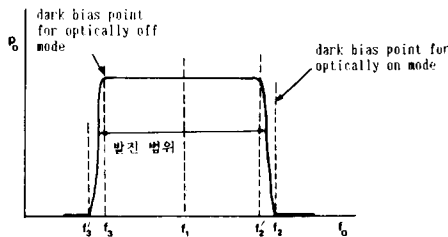


그림 9. GaAs MESFET 발진기의 광 스위칭 동작 원리

Fig. 9. Operation principles of the two modes of optically switched GaAs MESFET oscillators.

을 변화시킴으로서 게이트와 소오스 간의 커패시턴스  $C_{gs}$ 가 변화될때, 고정된 외부 회로에 대하여 광을 입사하지 않은 상태하에서의 발진 주파수 범위로 정의하였다.

광 튜닝 동작을 하도록 하려면 광을 입사하지 않은 상태에서 발진기를  $f_2'$ 와  $f_1$ 사이에서 바이어스 시켜야 한다.

한편, 광 스위칭 동작을 수행하기 위해서는 optically-on mode로 동작시킬 경우 광을 압사하지 않은 상태에서 발진기를  $f_2$ 에 바이어스 하든가 optically-off mode로 동작시킬 경우  $f_3$ 에 바이어스 하여야 한다. 표 3에서 optically-on mode와 optically-off mode의 발진 주파수를 비교하면 이러한 해석과 잘 일치함을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 GaAs MESFET로 구성된 발진기에 광을 입사한 경우 이에 대한 민감도를 보이는 실험 결과를 제시하였다.

이를 위해 먼저 C-밴드 발진기를 설계 제작하여 광을 입사하였을 때 발진기의 두가지 광 효과, 즉 광 튜닝 및 광 스위칭 동작을 조사하였다.

제작한 발진기에 DC광을 입사한 경우 발진 주파수는 약 1(%) 정도 감소하였으며 발진 출력 및 효율은 약간 증가하였다.

광을 입사하였을 때 발진 주파수 변이는 GaAs MESFET소자의 공핍 영역에서 트랩에 의한 홀몰 포착 및 방출에 기인하는 게이트와 소오스 사이의 공핍층 커패시턴스 ( $C_{gs}$ ) 변화에 크게 영향을 받는다.

이에 대한 응용으로서는, 위상 배열 안테나에 있어서 광 섬유를 이용하여 개개의 안테나 요소에 optical-injection locking 된 신호를 분배하므로써 기존의 시스템의 복잡성을 상당히 간소화 시킬 수 있을 뿐만 아니라 손실을 상당히 줄일 수 있는 장점도 지니고 있다. 가까운 미래에 GaAs MESFET는 high-bit rate의 광 통신 시스템에 있어서 신호의 직접 복조와 광 신호 처리등에 중요한 역할을 수행할 것으로 기대된다.

그리고 실제 시스템에 응용하기 위해서는 MESFET의 센서부에서의 수광 효율을 향상시키기 위하여 소자의 구조를 적합하게 개선하므로써 광섬유를 이용하여 제어 광 신호를 입사하도록 하고, MESFET에서의 광에 의한 특성 변화에 대한 보다 정확한 이론적 해석 및 모델링에 관한 연구가 있어야 하겠다.

參 考 文 獻

[1] C. Baak, G. Elze, and G. Walf, "GaAs MESFET: A high-speed optical detector," Electron. Lett., vol. 13, pp. 193, 1977.

[2] J.J. Pan, "GaAs MESFET for high-speed optical detection," in Laser and Fiber Optics Communications, SPIE vol. 150, M. Ross, Ed. Bellingham: SPIE, pp. 175-184, 1978.

[3] J. Graffeuil, P. Rossel, and H. Martinot, "Light-induced effects in GaAs FETs," Electron. Lett., vol. 15, pp. 439-441, 1979.

[4] Robert B. Darling, John P. Uyemura, "Optical gain and Large-signal characteristics of illuminated GaAs MESFET's," IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-23, pp. 1160-1170, July, 1987.

[5] A.S. Daryoush, "Comparison of indirect optical injection-locking techniques of multiple X-Band oscillators," IEEE, vol MTT-34, pp. 1363-1370, December, 1986.

[6] Rainee N. Simons, "Microwave performance of an optically controlled AlGaAs/GaAs high electron mobility transistor and GaAs MESFET," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-35, pp. 1444-1455, December, 1987.

[7] Minoru Maeda, "Design and performance of X-band oscillators with GaAs Schottky-Gate Field-effect transistors," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-23, pp. 661-667, August, 1975.

[8] A.A. Salles, J.R. Forrest, "Initial observation of optical injection locking of GaAs metal semiconductor field effect transistor oscillators," Appl. Phys. Lett., vol. 38, pp. 392-394, March, 1981.

[9] Hideki Mizuno, "Microwave characteristics of an optically controlled GaAs MESFET," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-31, pp. 596-600, July, 1983.

[10] Alvaro Augusto A. De Salles, "Optical control of GaAs MESFET's," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-31, pp. 812-820, Oct. ober, 1983.

[11] Rainee N. Simons, "Analysis of optically controlled microwave/millimeter-wave device structures," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., vol. MTT-34, pp. 1349-1355, December, 1986.

[12] H.J. Sun, Prof. R.J. Gutmann and Prof. J.M. Borrego, "DC and pulse-light illuminated optical responses of microwave GaAs-MESFET oscillators," IEE Proceedings, vol. 131, Pt. I, pp. 31-37, February, 1984.

[13] 이승엽, "Coherent 광을 이용한 GaAs MES-ET 특성에 관한 연구", 석사학위논문, 연세대학교, 1988.

著 者 紹 介

張 隴 聖 (正會員)

1963年 9月 12日生. 1987年 2月 광운대학교 졸업(전자공학과). 1989年 2月 연세대본대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1989年 3月~현재 연세대학교 본대학원 전자공학과 박사과정중. 주관심분야는 GaAs MESFET 및 마이크로파 회로 등임.

朴 賢 澈 (正會員)

1960年 6月 7日生. 1983年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업. 1985年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사학위 취득. 1985년~현재 삼성전자 종합연구소 선임연구원. 주관심분야는 초고조



파 회로 및 이동통신 등임.

李 承 燁 (正會員)

1964年 2月 3日生. 1986年 연세대학교 전자공학과 졸. 1988年 2月 연세대학교 본대학원 전자공학과 석사학위 취득. 1988年 9月~현재 연세대학교 본대학원 전자공학과 박사과정중. 주관심분야는 GaAs MESFET 및 마이크로파 회로등임. 특히 광에 의한 마이크로파 소자 제어에 관심있음.



朴 漢 奎 (正會員) 第25卷 第8號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수