

헤어핀 공진기 구조를 소형화한 MMIC 발진기 설계

⁰최종원⁽¹⁾, 문성모⁽¹⁾, 박준석⁽²⁾, 이재학⁽³⁾, 이문규⁽¹⁾
⁽¹⁾서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부, ⁽²⁾국민대학교, ⁽³⁾웨이브스

A Design of MMIC Oscillator with Miniaturized Hairpin Resonator Structure

⁰Jong-Won Choi⁽¹⁾, Seong-Mo Moon⁽¹⁾, Jun-Seok Park⁽²⁾, Jae-Hak Lee⁽³⁾, and Moon-Quee Lee⁽¹⁾
⁽¹⁾Dept. of Electrical and Computer Eng., Univ. of Seoul, ⁽²⁾Kookmin Univ., ⁽³⁾Wavics

요약문

본 논문에서는 전통적인 헤어핀 공진기보다 훨씬 소형화한 헤어핀 공진기 구조를 이용하여 X 대역 MMIC 발진기를 InGaP/GaAs HBT 공정을 이용하여 제작하였다. 헤어핀 공진기의 크기는 약 1/4정도로 작게 구현이 가능하였으며, 이를 적용한 발진기의 측정결과 주파수는 8.295 GHz, 출력전력은 4.8 dBm, 위상잡음특성은 100 kHz 읍셋 주파수에서 -106.8 dBc/Hz, 1 MHz 읍셋 주파수에서 -121.7 dBc/Hz를 각각 나타내었다.

1. 서론

MMIC 발진기를 구현하는데 있어서 적합한 구조의 공진기에 대한 해결책이 제시되지 않았다. 이는 MMIC에서 제한된 회로 크기 내에서 이를 만족하는 공진기를 구현하는 것이 쉽지 않기 때문이었고, 이에 따라 다양한 구조의 공진기가 연구 및 설계되어 왔다. 그 중 헤어핀 모양의 공진기는 비교적 성능이 우수하고, 평면형으로 구성이 가능하므로 MMIC의 구현에 적합한 구조로 적용되어 왔다. 또한 헤어핀 공진기는 그림 1 (a)의 $\lambda/2$ 공진기를 집중소자를 이용한 캐패시터나 커플링 캐패시턴스를 이용하여 공진기의 크기를 줄이는 형태로 연구되고 있다^[1].

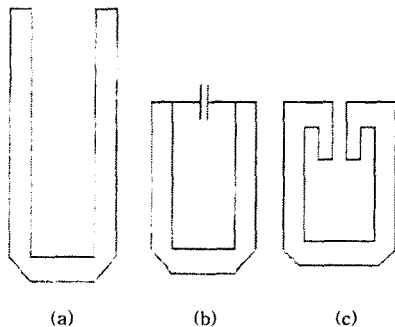


그림 1. 헤어핀 공진기의 구조적 진화과정
 (a) 전통적인 구조, (b) 캐패시터 집중 소자를 포함한 구조, (c) 커플링된 선을 갖는 소형화 구조

MMIC 발진기에 적용되는 헤어핀 공진기는 보통 직렬 공진점과 병렬공진점 사이의 주파수 범위에 있는 인덕티브한 부분을 이용하며, 리액턴스 부분의 주파수가 매우 급격히 변화하기 때문에 발진기의 위상 잡음을 감소시킬 수가 있다.

공진기 특성을 살펴보면 인덕티브한 부분은 부성저항을 갖는 능동 회로의 캐패시티브한 부분의 리액턴스 값

을 보상하여 발진을 하게 되며, 리액턴스의 급격한 변화는 헤어핀 형태의 계단형 임피던스 공진기(SIR)를 이용한 발진기에서 주파수를 안정화시킨다^[2].

제작 공정에서 사용한 InGaP/GaAs HBT의 특성을 살펴보면 다른 소자들에 비해 1/f 잡음의 차단 주파수가 매우 낮아 발진기 설계시 매우 우수한 위상잡음 특성을 보이고, 빠른 동작속도, 높은 동작주파수, 높은 선형성, 높은 이득과 높은 효율 등의 장점을 갖고 있다. 또한 InGaP는 AlGaP HBT에 비해 물질 산화가 없어 수명이 길며, 간단한 wet-etching 공정을 사용함으로 수율이 높다는 장점이 있다^[3, 4].

본 논문에서는 헤어핀 공진구조를 이용하여 X 대역에서 동작하는 InGaP/GaAs HBT MMIC 발진기를 설계 및 제작하였다. 100 μm GaAs 기판에서 8 GHz의 $\lambda/4$ 의 크기는 3270 μm 으로 기존의 헤어핀 공진기와 같은 분포소자를 이용한 공진기로의 구현이 현실적으로 어려워진다. 이를 해결하기 위해 그림 2 (a)의 기존의 공진기와 같이 분포소자의 전체 길이와 같은 $\lambda/4$ 정도의 길이를 갖으나, 그 구조를 그림 (b)와 같이 밀집시켜 그림으로써 공진기의 면적을 1/4정도로 줄여서 구현하였다.

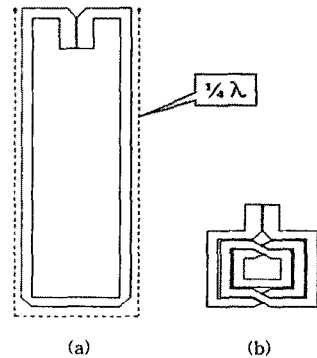


그림 2. 헤어핀 공진기 크기 비교
 (a) 기존의 헤어핀 공진기 구조
 (b) 논문에서 제안한 소형 헤어핀 공진기의 구조

2. 본론

2.1 X 대역 공진기 설계

공진기는 꼬인 형태의 헤어핀 구조를 이용하여 설계하였으며 air-bridge metal(ABM)과 interconnection metal(IM)을 갖는 MMIC공정을 이용함으로써 $\lambda/4$ 길이를 내부에 밀집시켜 구현하여 그 크기를 현저히 줄일 수 있었다. 그림 3은 실제 측정된 공진기의 임피던스 특성을 보여주며, 이를 등가회로화 하여 구현하면 그림 4와 같다.

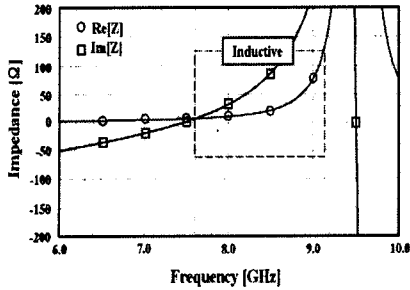


그림 3. 측정된 공진기의 임피던스 특성 도표

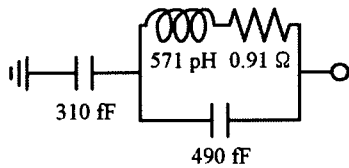


그림 4. 크기를 줄인 헤어핀 공진기의 간략화된 등가회로

그림 4의 등가회로를 분석해보면 인덕터와 저항은 직렬로 연결되어 꼬인 마이크로스트립 전송선로를 나타내고, 병렬로 연결된 캐패시터는 출력단에서의 마이크로스트립 전송선로간의 커플링 캐패시턴스 효과 및 내부의 꼬아진 마이크로스트립 전송선로 사이에서의 커플링 캐패시턴스 효과를 나타내며, 직렬로 연결된 캐패시터는 마이크로스트립 전송선로와 유전체를 통한 접지간의 캐패시턴스 효과와 공진기 끝단의 개방된 선로에서 플러징 캐패시턴스 효과를 포함하고 있다.

공진부를 ADS Momentum 시뮬레이션을 하였을 때와 실제 측정시 주파수에서 대략 1GHz정도의 편차가 생기는데 이는 그림 5와같이 공정시 air-bridge post(ABP)가 없는 곳에서는 ABM이 주저앉아 발생하는 효과로 추정된다. 실제 공정상의 IM과 ABM 사이에서의 높이보다 낮게 설정하고 ABP의 유전율을 고려하여 Momentum 시뮬레이션을 하게 되면 측정 결과와 시뮬레이션 결과의 주파수가 대략 비슷하게 나오게 되므로 이를 통하여 검증할 수 있다.

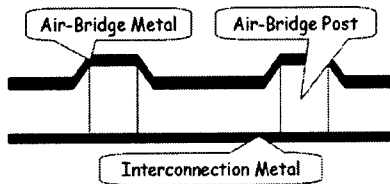


그림 5. 실제 공정상 구현된 선로(측면도)

2.2 발진기 설계

그림 6은 설계한 X 대역 발진기의 회로도이며, 베이스 부분에 크기를 줄인 공진기를 인덕터로 적용하였다. 바이어스는 셸프 바이어스로 베이스단과 콜렉터단을 분리하여 전압을 인가하였다. 회로를 분석해보면 베이스 부분의 저항은 전압 인가시 과전류가 HBT의 베이스단으로 흐르는 것을 방지하기 위해 사용하였으며, 콜렉터 부분의 인덕터는 RF 성분을 차단하기 위한 초크로 사용하였다.

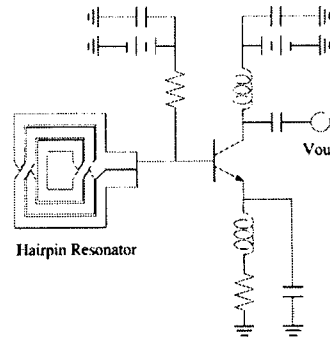


그림 6. 크기를 줄인 헤어핀 공진기를 이용한 X 대역 발진기 회로도

2.3 측정결과

X 대역 발진기는 InGaP/GaAs HBT MMIC 공정을 이용하여 1.1 mm × 0.9 mm의 크기로 제작하였으며, 측정은 웨이퍼 상태에서 프로브를 이용하여 측정을 실시하였다. 측정 장비로는 HP 6626A 전원 공급기와 HP 8564E 스펙트럼 분석기를 사용하였다.

다양한 바이어스 조건을 주어 측정된 결과 주파수는 8.29~8.38 GHz, 출력 전력은 3 dBm 이상, 위상잡음은 1 MHz 오프셋 주파수에서 최고 -121.7 dBc/Hz를 보였다.

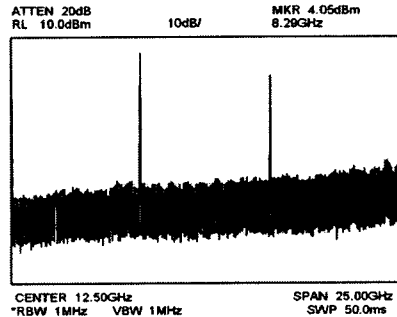


그림 7. 주파수 스펙트럼

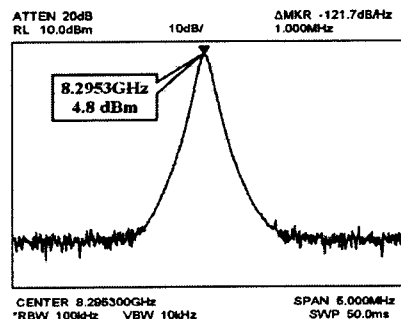


그림 8. 위상 잡음 특성 (1 MHz 오프셋 주파수)

바이어스는 VBB와 VCC에 각각 2V, 3.5V가 인가되었고 소모전류는 15mA정도 흘렸으며, 그림 7과 8은 이 조건하에서 측정된 주파수 스펙트럼과 1 MHz 오프

셋 주파수에서의 위상잡음특성이다.

그림 9는 InGaP/GaAs HBT공정을 이용하여 실제 제작한 X대역 발진기의 사진을 보여주고 있다. 시뮬레이션과 측정 결과자료는 Agilent사의 ADS를 이용하였다.

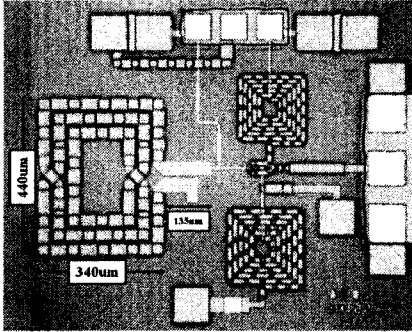


그림 9. 크기를 줄인 헤어핀 공진기를 이용한 X 대역 발진기 사진 (1.1 mm × 0.9 mm)

4. 결 론

본 논문에서는 기존 헤어핀 공진기를 이용한 발진기에 비해 공진기의 크기를 1/4로 소형화하여 구현하였고, X대역에서 InGaP/GaAs HBT MMIC 공정을 사용하여 실제 제작하였다. 측정 결과 특정 바이어스 전압상태 하에서 주파수는 8.295 GHz, 100 kHz와 1 MHz 옵셋 주파수에서 각각 -106.8 dBc/Hz와 -121.7 dBc/Hz의 우수한 위상 잡음 특성을 나타내었으며, 4.8 dBm의 출력 특성을 보였다. 표 1은 X 대역 MMIC 발진기에 대한 주요 논문들의 특성을 요약한 결과이다. 결과를 보면 본 논문에서 설계하여 제작한 발진기는 다른 발진기에 비해 비슷한 크기를 유지하면서도 성능적인 측면에서 비슷하거나 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

본 구조는 기존의 헤어핀 구조를 현저히 소형화한 헤어핀 구조를 X 대역 MMIC 발진기에 최초로 적용한 예이다.

표 1. X 대역 발진기 및 전압제어발진기 비교

Ref.	f_0 , GHz	Δf , Hz	Phase noise, dBc/Hz	Power, dBm	Size mm ²
This work	8.295	1M	-121.7	4.8	1.1×0.9
[5]	8	1M	-117	-8	0.9×0.75
[6]	11.5	100k	-91	11.5	0.66×0.92
[7]	9.566	1M	-115	2.3	1.6
[8]	10	100k	-92	11	2.3

[참 고 문 헌]

[1] C. G. Hwang, *et al.*, "Simple K-band MMIC VCO utilizing a miniaturized hairpin resonator and a three terminal p HEMT varactor with low phase noise and high output power properties," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 13, no. 6, pp. 229-231, June 2003.

[2] M. Makimoto, and S. Yamashita, "Microwave resonators and filters for wireless communication," Springer, 2001.

[3] 명성식, 전상훈, 육종관, "InGaP/GaAs HBT를 이용한 WLAN용 low noise RFIC VCO," *한국전자파학회논문지*, 제15권, 제2호, pp. 145-151, 2004년 2월

[4] W. J. HO, *et al.*, "GaInP/GaAs HBT's for high speed integrated circuit applications," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 40, pp. 2113-2114, Nov. 1993.

[5] D. H. Baek, *et al.*, "8 GHz CMOS quadrature VCO using transformer based LC tank," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 13, no. 10, pp. 446-448, Oct. 2003.

[6] C. H. Lee, *et al.*, "A low phase noise X band MMIC GaAs MESFET VCO," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 8, pp. 325-327, AUG. 2000.

[7] Valery S. Kaper, *et al.*, "High power monolithic AlGaIn/GaN HEMT oscillator," *IEEE Journal of Solid State Circuits*, vol. 38, no. 9, pp. 1457-1461, SEP. 2003.

[8] Z. Ouarich, *et al.*, "Low phase noise, fully integrated monolithic VCO in X band based on HBT technology," *2001 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1415-1418, 2001.