

論文2003-40TC-7-4

고 변환이득 및 격리 특성의 V-band용 4체배 Sub-harmonic Mixer (High Conversion Gain and Isolation Characteristic V-band Quadruple Sub-harmonic Mixer)

嚴元永*, 薛宇哲*, 韓孝宗*, 金星燦*, 李漢信*, 安壇*,
金三東*, 朴亨茂*, 李鎮九*

(Won Young Uhm, Woo Suk Sul, Hyo Jong Han, Sung Chan Kim, Han Shin Lee, Dan An, Sam Dong Kim, Hyung Moo Park, and Jin Koo Rhee)

요약

본 논문에서는 0.1 μm GaAs PHEMTs MIMIC공정을 이용하여 V-band에서 사용 가능한 고 성능의 sub-harmonic mixer를 제안하였다. LO신호의 n차 하모닉 성분을 이용하기 위해서는 LO신호 전력의 필연적인 감쇠가 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 주파수를 혼합하기 위한 APDP (anti-parallel diode pair) 구조에 0.1 μm PHEMT (pseudomorphic high electron mobility transistors)를 각 단에 연결시켜 LO 신호의 4차 성분을 이용하는데 있어 주요한 성능 향상을 이루었다. PHEMT 다이오드와 PHEMT를 0.1 μm 의 게이트 길이를 갖는 동일 공정을 통하여 구현하였고 CPW (Coplanar Waveguide) 라이브러리를 개발하여 제안된 회로를 설계하였다. 또한 상대적으로 낮은 주파수의 출력 IF 단에는 출력 주파수의 선택성을 좋게 하기 위하여 Lumped 소자를 이용하여 정합회로를 구성하여 RF 입력 신호와 LO 신호의 출력단 유입을 억제하였다. 제작된 sub-harmonic mixer의 특성을 측정할 결과 입력 RF 주파수가 60.4 GHz, LO 주파수가 14.5 GHz일 때, 0.8 dB의 변환이득 특성을 얻었으며, LO-to-IF, LO-to-RF 격리 특성을 측정할 결과 동작영역에 걸쳐 50 dB이상의 높은 격리 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we have proposed a high conversion and isolation characteristic V-band quadruple sub-harmonic mixer monolithic circuit which is designed and fabricated for the millimeter wave down converter applications. While most of the sub-harmonic mixers use a half of fundamental frequency, we adopt a quarter of the fundamental frequency. The proposed circuit is based on a sub-harmonic mixer with APDP(anti-parallel diode pair) and the 0.1 μm PHEMT's (pseudomorphic high electron mobility transistors). Lumped elements at IF port provide better selectivity of IF frequency and increase isolation. Maximum conversion gain of 0.8 dB at a LO frequency of 14.5 GHz and at a RF frequency of 60.4 GHz is measured. Both LO-to-RF and LO-to-IF isolations are higher than 50 dB. The conversion gain and isolation characteristic are the best performances among the reported quadruple sub-harmonic mixers operating in the V-band millimeter wave frequency thus far.

Keywords : APDP, PHEMT, sub-harmonic mixer, MIMIC, V-band

* 正會員, 東國大學校 밀리미터파 新技術研究센터
(Millimeterwave INnovation Technology research
center(MINT), Dongguk Univ.)

※ 본 연구는 동국대학교 ERC 센터인 밀리미터파 신기술
연구센터(MINT)의 지원에 의하여 수행되었습니다.
接受日字:2003年3月12日, 수정완료일:2003年7月14日

I. 서론

무선 통신 산업의 성장과 고속의 데이터 전송에 대한 필요성이 증대 됨에 따라 데이터 전송률을 높이고 낮은 에러율을 확보하기 위한 사용 주파수 대역이 한계점에 이르고 있는 마이크로파 대역을 대신하여 매우 넓은 대역폭을 제공할 수 있는 밀리미터파 대역 무선 통신에 대한 기술 개발의 중요성이 증가되고 있다. 이러한 밀리미터파 대역에서의 시스템 구현을 위해 시스템 전단의 down converter에 매우 중요한 부품인 mixer는 LO 신호와 RF 신호를 혼합하여 IF 주파수를 발생시키는 부품이다. 그러나 높은 주파수의 LO 신호원을 생성하기 위한 발진기의 설계 및 제작이 어려운 실정이며 매우 고가이기 때문에 전체 시스템의 가격을 상승시키게 된다. 이러한 이유로 최근 기존의 mixer의 단점을 보완하는 회로로 Sub-harmonic mixer에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

Sub-harmonic mixer는 LO 신호의 n 차 하모닉 성분을 이용하여 RF 신호를 IF 신호로 변환시키는 것으로 PHEMT 다이오드나 PDB(planar doped barrier) 다이오드를 서로 역방향으로 연결한 비선형 소자를 이용하여 기본 발진 주파수를 직접 사용하는 믹서에 비해 변환 손실을 줄일 수 있고 낮은 노이즈 특성을 지닌다^[1].

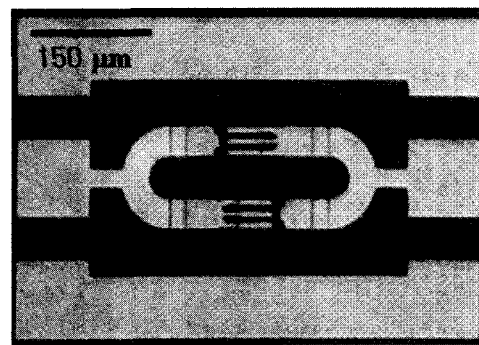
최근 발진기와 체배기 기술이 발달하여 기본 주파수를 이용한 신호원에 대한 많은 개발이 이루어지고 있지만 격리 특성 등의 우수한 특성에 의해 여전히 sub-harmonic mixer에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다^[3-8].

본 논문에서는 이러한 APDP의 특성을 이용하여 V-band에서 사용 가능한 고성능의 sub-harmonic mixer를 제안하였다. 제안된 Sub-harmonic mixer는 conventional mixer의 기본 발진 주파수의 1/4 주파수 신호를 이용하였으며, 변환이득 과 좋은 격리 특성을 얻기 위해 $0.1 \mu\text{m}$ GaAs PHEMT를 각 단에 연결하였다. PHEMT 다이오드와 GaAs PHEMT를 동일 공정에 의해 제작하였고, CPW 라이브러리를 개발하여 제안된 회로를 설계하였다. 제작된 MIMIC 은 on-wafer probing system을 이용, 측정하여 그 특성을 분석하였다^[2].

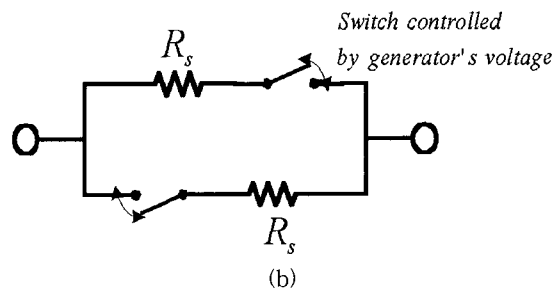
II. Sub-harmonic mixer 회로의 설계

제안된 sub-harmonic mixer의 주요 구성은 APDP와

PHEMT로 이루어져있다. APDP는 PHEMT의 소스전극과 드레인 전극을 연결하여 구성하였으며 두 개의 다이오드가 대칭적으로 연결되어 있기 때문에 각각의 다이오드는 바이어스가 인가되지 않은 상태로 동작하게 된다. 그러므로 회로의 동작을 위해서는 높은 LO 신호를 요구하는데 이를 위해서 PHEMT를 연결하여 회로를 구성하였다. 또한 각 단에 연결 되어진 PHEMT는 각각의 신호의 격리도 특성을 증가 시킨다.



(a)



(b)

그림 1. (a) APDP와 (b) APDP의 등가 회로

Fig. 1. (a)APDP and (b) equivalent circuit(R_s : series resistance).

<그림 1(a)> PHEMT 다이오드를 이용하여 구성된 APDP의 칩 사진을 보여주며 그 등가회로를 <그림 1(b)>에 나타내었다. 두 개의 다이오드가 대칭적으로 연결되어 있기 때문에 이 회로는 anti-symmetric의 전류-전압 특성을 지닌다.

회로에 LO 주파수 신호와 RF 주파수 신호가 입력되면 각각의 하모닉 성분들이 혼합되고, 이 중 even order 혼변조 성분, 즉 $2f_{LO}$, $4f_{LO}$ 와 $f_{RF} \pm f_{LO}$ 성분들은 다이오드 loop내에서만 흐르게 되고 odd order 혼변조 성분인 f_{LO} , $f_{RF} - 2f_{LO}$, $3f_{LO}$, $f_{RF} - 4f_{LO}$ 는 출력되게 된다^[1]. 기존의 sub-harmonic 믹서는 출력되는 odd order 혼변조 성분 중 IF 주파수 신호가 $f_{RF} - 2f_{LO}$ 인

성분 즉 LO 신호의 2차 하모닉 성분을 이용한 반면^[3, 4], 본 논문에서 제안된 회로는 LO 신호의 4차 하모닉 성분인 $f_{RF} - 4f_{LO}$ 을 이용하였다.

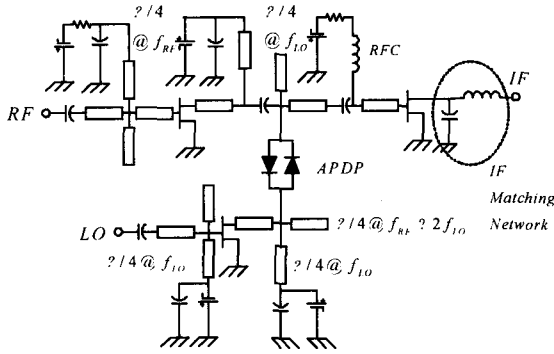


그림 2. 설계된 sub-harmonic mixer의 회로도
Fig. 2. A schematic of the designed quadruple sub-harmonic mixer circuit.

<그림 2>에 설계된 sub-harmonic mixer의 회로도를 나타내었다. LO 단에서 입력 되는 신호 f_{LO} 는 PHEMT에 의하여 증폭되어 diode pair내로 유입된다. 원활한 신호의 유입을 위하여 -0.7 V의 게이트 바이어스와 2V의 드레인 바이어스를 가해준다. f_{LO} 에 대한 short stub는 입력 노드의 임피던스를 높게 하여 f_{LO} 신호가 원활히 인가될 수 있게 함과 동시에 게이트 바이어스 회로로 사용된다. Diode pair쪽으로 모든 LO 신호를 주입시키기 위해서 f_{LO} 의 $\lambda/4$ short stub를 diode pair의 LO 부근에 위치시킨다. 이 stub는 LO 주파수 신호 f_{LO} 에 대해서는 아무 영향을 가하지 않지만, LO 주파수의 거의 4배에 해당하는 RF 주파수 신호 f_{RF} 에 대해서는 short circuit로 작용하게 된다. 또한 이 stub은 LO 신호를 증가시키는 PHEMT를 구동하기 위한 드레인 바이어스 회로로 사용된다. 마찬가지로 diode pair의 RF 단 부근에 위치한 f_{LO} 의 $\lambda/4$ open stub는 RF 신호 f_{RF} 에 대해서는 아무 영향을 미치지 못하지만 f_{LO} 에 대하여 short circuit로 작용하게 된다. RF 단에 위치한 PHEMT는 -0.7V의 게이트 바이어스와 2V의 드레인 바이어스를 가하여 입력되는 RF 신호를 증폭시키고, 소자의 S_{21} 특성에 의해 LO 신호와 IF 신호의 유입을 막아 격리 특성을 좋게 하는 특성을 지닌다. 이러한 f_{LO} 의 $\lambda/4$ open, short stub들에 의해 LO 신호와 RF 신호가 diode pair 내로 유입되어 신호의 혼합이 이루어지게 된다^[1, 3, 8].

4차 하모닉 성분을 발생시키기 위한 diode pair의 혼

합작용에 주요하게 악 영향을 미치는 주파수는 $f_{RF} - 2f_{LO}$ 신호이다. $f_{RF} - 2f_{LO}$ 의 신호를 억압하기 위하여 $\lambda/4$ open stub를 설계하여 원활한 신호의 혼합이 이루어지도록 하였다^[9].

마지막으로 상대적으로 낮은 주파수인 IF 단은 lumped 소자를 이용하여 정합회로를 구성하였다. Low pass filter형식을 이루어 IF 신호에 대한 선택성을 증가시키고 출력 단으로 유입되는 LO 신호와 RF 신호를 막아 격리 특성을 좋게 하는 특성을 가진다.

III. Sub-harmonic mixer의 제작 및 측정결과 분석

<그림 3>에 제작된 sub-harmonic mixer의 단일 칩 표면사진을 나타내었다. 전체 칩의 크기는 1.9 mm × 2.6 mm이다. 우수한 성능을 갖는 0.1 μm Γ -shaped PHEMT 다이오드와 PHEMT를 제작하고 이를 이용한 단일 칩 sub-harmonic mixer를 구현하기 위하여 이중 접합 구조로 된 에피층을 설계하였다. 게이트 길이 0.1 μm , 단위 게이트 폭이 70 μm , 평거수가 2개인 PHEMT 다이오드는 9.9 Ω 의 series resistance와 바이어스를 안 가했을 경우 0.093 pF의 zero bias junction capacitance 값을 가진다. 이 값을 바탕으로 다이오드의 차단 주파수를 계산하면 180 GHz의 특성을 나타내었다.

같은 게이트 폭과 수를 같은 PHEMT의 소자는 드레인 전류밀도 373.5 mA/mm와 522.4 mS/mm의 전달된

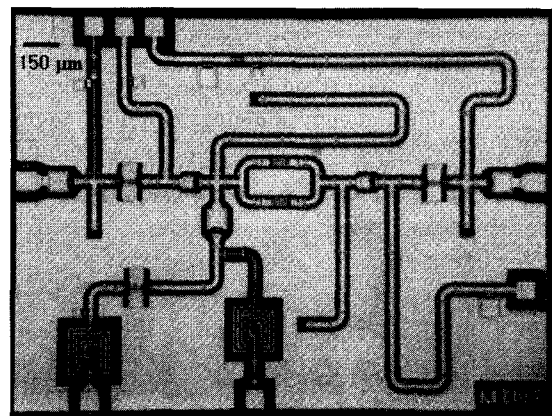


그림 3. 제작된 4차 sub-harmonic mixer
Fig. 3. Photograph of the fabricated sub-harmonic mixer MIMIC.(1.9mm × 2.6 mm)

덕턴스, 180 GHz의 최대공진주파수(f_{max}) 및 113 GHz의 차단주파수 특성을 나타내었다.

회로 설계를 위한 전송선은 CPW구조를 사용하였으며, CPW 구조는 후면 공정이 필요 없어 Microstrip에 비하여 공정이 간단하고 수율이 증가하는 장점을 가진다. CPW 라이브러리 구축을 위해 35, 50, 70 Ω 라인 및 각 특성 임피던스 라인의 불연속 특성에 대한 모델을 구축하였다. 또한 900 \AA Ti 금속을 사용한 박막 저항과 1000 \AA Si_3N_4 박막을 이용한 MIM 캐패시터를 설계 및 제작하여 수동소자 모델을 구축하였다. 제작된 박막 저항과 MIM 캐패시터의 측정결과 박막저항은 29.6 ~ 36.5 Ω/\square 및 캐패시터는 0.485 ~ 0.538 $\text{fF}/\mu\text{m}^2$ 의 값을 가진다.

제작된 칩은 on-wafer proving system을 이용하여 측정하였으며 <그림 4>에 RF 입력 전력 변화에 따른 IF 출력 특성과 변환이득 특성을 나타내었다. RF 중심 주파수가 60.4 GHz, 입력 전력이 -14 dBm, LO 주파수가 14.5 GHz, 입력 전력이 12 dBm일 때 최대 변환이득인 0.8 dB의 변환이득을 얻었으며 -11 dBm의 P1dB (1 dB compression point) 결과를 얻었다.

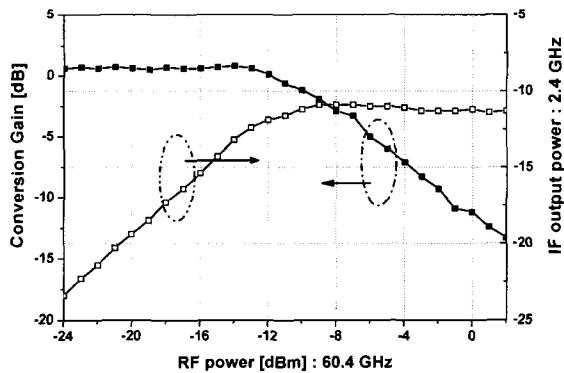


그림 4. RF 입력 변화에 따른 변환이득 및 IF 출력 특성 측정결과

Fig. 4. Measured down conversion gain (G_c) and IF output power vs. RF input power (LO frequency: 14.5 GHz, LO power: 12dBm).

또한 RF 입력 전력을 -14 dBm, LO 입력 전력을 12 dBm으로 고정시키고 RF 입력 주파수를 변화 시켜 입력 주파수의 변화에 따른 변환이득 특성을 측정 한 결과 <그림 5>와 같이 58.4~62.4 GHz의 주파수 대역에서 0.8~8.4 dB의 변환이득 특성을 나타내었다.

<그림 6>은 LO 입력 전력 변화에 따른 변환이득 특

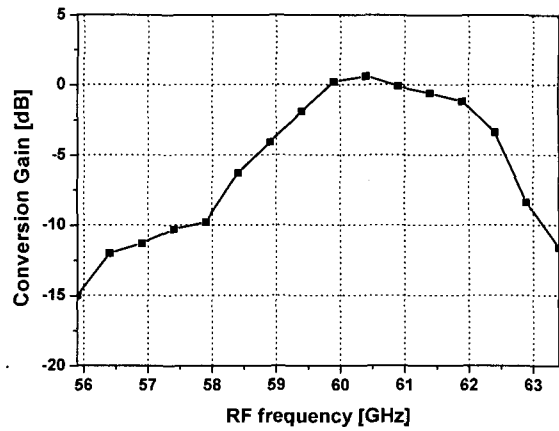


그림 5. RF 주파수 변화에 따른 변환이득 특성 측정결과

Fig. 5. Measured down conversion gain (G_c) vs. RF frequency (LO power: 12dBm, RF power: -14 dBm).

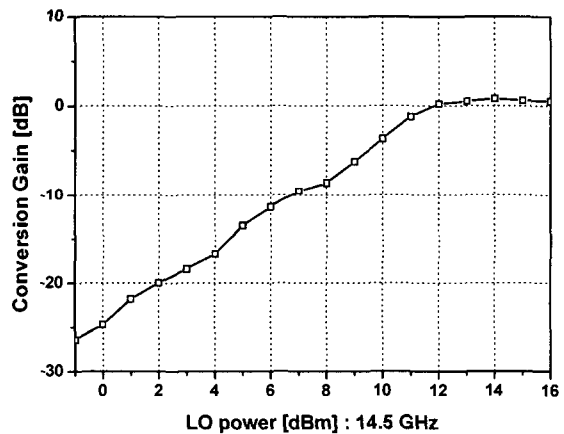


그림 6. LO 입력 전력의 변화에 따른 변환이득 특성 측정결과

Fig. 6. Measured down conversion gain (G_c) vs. LO input power (RF frequency: 60.4 GHz, RF power: -14 dBm).

성을 나타낸 것으로 12 dBm 이상의 입력 LO 전력에서는 변환이득이 포화됨을 알 수 있다.

<그림 7>에 제작된 회로의 LO-to-RF, LO-to-IF 격리 특성을 나타내었다. 측정 결과 제작된 회로의 동작 주파수 대역 58.4~62.4 GHz에서 50 dB이상의 좋은 격리 특성을 나타내었다. 특히 각 단에서의 LO 신호의 격리 특성은 회로 내의 open stub에 의해 결정되는데 측정된 결과 LO 입력 주파수가 14.5 GHz일 때 LO-IF와 LO-RF 격리 특성은 각각 -61.7 dB, -52.1 dB의 최고

높은 격리 특성을 나타내어 동작 주파수에 대한 stub의 길이를 잘 조정하였음을 알 수 있다. 또한 출력 신호의 선택성을 좋게 하기 위한 IF 단의 lumped 소자를 이용한 정합회로 구성에 의해 출력 단의 격리 특성이 매우 우수한 특성을 나타내었다.

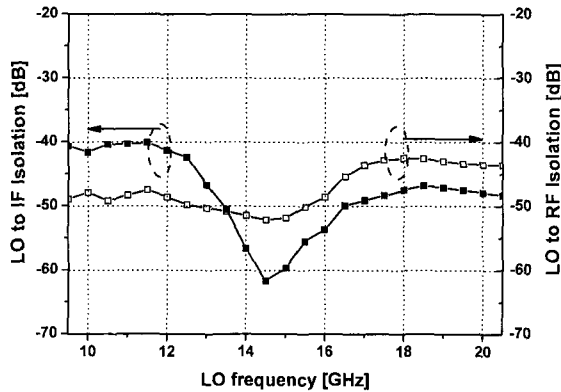


그림 7. Isolation 특성 측정결과
Fig. 7. Measured isolation characteristics of the fabricated sub-harmonic mixer.

표 1. V-band 용 mixer의 성능 비교
Table 1. Comparison Of Other Reported V-band Integrated Mixers.

Mixer Topology	LO mixing harmonic	Max. Conversion Gain(dB)	Max. Isolation LO-RF(dB)	Reference
Gate injected HEMT	Fund.	-4.3	15	[10]
Drain injected HEMT	Fund.	-6	20	[10]
Dual Gate HEMT	Fund.	-5	35	[11]
Gate injected HEMT	Fund.	2	31	[12]
Resistive HEMT	Fund.	-8.5	32	[13]
APDP	2 nd	-12	-	[14]
APDP	2 nd	-12	-	[15]
APDP	2 nd	-10	-	[4]
APDP	4 th	-11.3	33	[5]
APDP	4th	0.8	52.1	This work

최근에 보고 된 V-band 동작 범위를 갖는 mixer와 제작된 회로와의 성능을 비교한 결과를 <표 1>에 나타내었다. LO 주파수의 fundamental 신호를 이용한 mixer들의 경우 좋은 변환이득 특성을 가지는 회로가 보고되고 있으나 낮은 격리 특성들을 가지며^[10-13], 본 논문에서 제안된 회로와 같은 APDP구조를 이용하여 LO 주

파수의 2차, 4차 하모닉 성분을 이용한 sub-harmonic mixer의 경우 변환 이득 특성과 격리 특성 모두 본 연구에서 제작된 회로가 더 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다^[4,5,14].

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대역의 수신 시스템에서 사용 가능한 고성능의 sub-harmonic mixer를 설계 및 제작하였다. 제안된 회로의 기본 구성은 APDP를 이용하였으며 기존의 sub-harmonic mixer가 LO 주파수의 1/2의 주파수를 사용한 반면 제안된 회로는 1/4의 주파수를 사용하였다. 또한 회로 동작을 위한 충분한 LO 입력 전력과 높은 변환이득 특성 및 격리 특성을 얻기 위해 0.1 um GaAs PHEMT를 각 단에 연결하였고 높은 주파수 선택성 얻기 위해 출력 단의 정합 회로를 구성하였다. 제작된 sub-harmonic mixer의 측정 결과 RF 주파수가 58.4~62.4 GHz인 범위에서 높은 변환이득 특성을 얻었으며 특히 LO 주파수가 14.5 GHz, RF 주파수가 60.4 GHz일 때 0.8 dB의 최고 변환 이득 특성을 나타내었다. 또한 격리 특성을 측정한 결과 동작 주파수범위에서 50 dB 이상의 높은 LO-IF, LO-RF 격리 특성을 나타내었다. 제작된 sub-harmonic mixer는 기존의 밀리미터파 대역의 mixer에 비해 낮고 안정된 LO 신호원을 사용할 수 있고 또한 높은 변환이득 특성과 격리 특성을 타나 냄으로써 향후 밀리미터파 대역의 수신 시스템의 적용 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] M. Cohn, J. E. Degenford, and B. A. Newman, "Harmonic Mixing with an antiparallel diode pair," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. MTT-23, no. 8, pp. 667~673, 1975.
 [2] Tae-Sin Kang, Seong-Dae Lee, Bok-Hyoung Lee, Sam-Dong Kim, Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "Design and Fabrication of a Low-Noise Amplifier for the V-band," J. Korean Phys. Soc., vol. 41, no. 4, pp. 533~538, 2002.
 [3] S. Raman, and G. M. Rebeiz, "A 94 GHz Uniplanar Subharmonic Mixer." 1996 IEEE

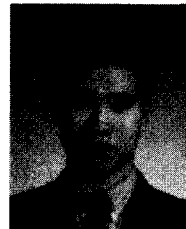
- MITT-S Int, Microwave Symp, Digest, pp. 385~388, 1996.
- [4] A. Yamada, Y. Amano, Y. Motouchi, N. Tankahashi, E. Suematsu, and H. Sato, "A Compact 60 GHz Sub-Harmonically Pumped Mixer MMIC Intergrated with an Image Rejection Filter." 2002 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest, pp. 1733~1736, 2002.
- [5] Michael W. Chapman, and Sanjay Raman, "A 60 GHz Uniplanar MMIC 4x Subharmonic Mixer," 2001 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest, pp. 95~98, 2001.
- [6] K. Kanaya, K. Kawakami, T. Hisaka, T. Ishikawa, and S. Sakamoto, "A 94GHz High Performance Quadruple Subharmonic Mixer MMIC," 2002 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest. vol. 2, pp. 1249~1252, 2002.
- [7] K. Itoh, K. Tajima, K. Kawakami, O. Ishida, and K. Mizuno, "Fundamental Limitations On Output Power And Conversion Loss Of An Even Harmonic Mixer In Up-Conversion Operation," 1997 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest. vol. 2, pp. 849~852, 1997.
- [8] A. C. Azevedo Dias, D. Consonni, and M. A. Luqueze, "High Isolation Sub-Harmonic Mixer," SBMO/IEEE MTT-S, APS and LEOS - IMOC '99, vol. 2, pp. 378~382, 1999.
- [9] T. Saito, N. Hidaka, Y. Ohashi, T. Shimura, Y. Aoki, "HEMT-based MMIC single-balanced mixers for 60-GHz indoor communication systems," 1993 Gallium Arsenide Integrated Circuit(GaAsIC) Symposium, Technical Digest 1993, 15th Annual, pp. 57~60, 1993.
- [10] R. Allam, C. Kolanowski, D. Langrez, P. Bourne, J. C. De Jaeger, Y. Crosnier, G. Salmer, "60 GHz MMIC mixer using a dual-gate PM HEMT," Signals, Systems, and Electronics, 1995 URSI International Symposium on, pp. 171~174, 1995.
- [11] D. An, B. H. Lee, Y. S. Chae, H. M. Park, H. C. Park, and J. K. Rhee, "Low LO Power V-band CPW Mixer Using GaAs PHEMT," 32nd European Microwave Conference 2002, vol. 2, pp. 773~776, 2002.
- [12] K. S. Ang, M. Chongcheawchamnan, I. D. Robertson, "Monolithic resistive mixers for 60 GHz direct conversion receivers," Radio Frequency Integrated Circuits(RFIC) Symposium, 2000. pp. 35~38, 2000.
- [13] Yon-Lin Kok, Pin-Pin Huang, Huei Wang, B. R. Allen, R. Lai, M. Sholley, T. Gaier, I. Mehdi, "120 and 60 GHz monolithic InP-based HEMT diode sub-harmonic mixer," 1998 IEEE MITT-S Int, Microwave Symp, Digest, vol. 3, pp. 1723~1726, 1998.
- [14] Oliver Vaudescal, Benoit Lefebvre, Valerie Lehoue, Pierre Quentin, "A Highly Intergrated MMIC Chipset for 60 GHz Broadband Wireless Applications," 2002 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest, vol. 3, pp. 1729~1732, 2002.

저 자 소 개



嚴元永(正會員)

2002년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2002년 3월~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 석사과정. <주관심분야 : MIMIC 설계 및 모델링>



薛宇喆(正會員)

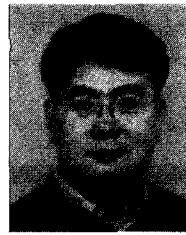
2000년 2월 : 동국대학교 전자 전기공학부(공학사). 2002년 3월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2002년 3월~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 밀리미터파 대역용 MIMIC 부

품 설계 및 제작>



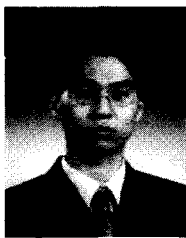
韓 孝 宗(正會員)

2002년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2002년 3월~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 석사과정. <주관심분야 : MIMIC 설계 및 공정>



金 三 東(正會員)

2001년 3월~현재 : 동국대학교 전자공학과 조교수. 1999년 11월~2001년 2월 : 밀리미터파 신기술 연구센터 연구교수. 1983년 2월 : 서울대학교 금속공학과(공학사). 1985년 2월 : 서울대학교 금속공학과(공학석사). 1992년 9월 : Department of Materials Science & Engineering, Stanford University(공학박사)



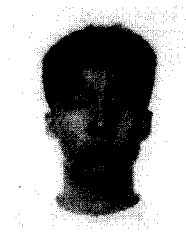
金 星 燦(正會員)

1999년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2001년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2001년 3월~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



朴 亨 茂(正會員)

1999년~현재 : 동국대학교 전자공학과 부교수. 1978년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1980년 : 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 졸업(공학석사). 1984년 : 한국과학기술원(KAIST) 전자공학과 졸업(공학박사).



李 漢 信(正會員)

2002년 2월 : 국립 한경대학교 전자공학과(공학사). 2002년 3월~현재 : 동국대학교 대학원 전자공학과 석사과정. <주관심분야 : MEMS 공정 기술 및 E-Beam lithography>



李 鎮 九(正會員)

1969년 : 국립항공대학교 전자공학과(공학사). 1975년 : 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1982년 : Oregon State University 전기공학과(공학박사). 1985년 : Cray Research, USA, Research Scientist. 1985년 : Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer. 1990년~1991년 : University of Michigan, Visiting Research Scientist. 1995년~현재 : 한국 전자파학회 이사. 1996년~현재 : 한국산업인력관리공단, 기술사 검정 심의위원. 2002년~현재 : 대한전자공학회 부회장. 1985년~현재 : 동국대학교 공과대학 전자공학과 교수. 1999년~현재 : 밀리미터파 신기술 연구센터 소장.



安 壇(正會員)

1998년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2000년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2000년 3월~현재 : 동국대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 마이크로 파 소자 및 회로설계, MMIC 설계

및 소자 모델링>