

밀리피터파 대역 하향 변환 혼합기

Down Conversion Mixer for Millimeter Band

지 흥 구 · 오 승 엽*

Hong-Gu Ji · Seung Hyeub Oh*

요 약

밀리미터파 대역의 부품 수요가 많아질 것으로 예상되어지는 57~63 GHz 대역의 하향 변환 혼합기를 IHP SiGe 0.25 um 공정을 이용하여 설계 및 제작하였다. 혼합기 RF 단에 크기를 줄인 3D 발룬(balun)을 위치하였으며, 혼합기는 두 개의 평형 혼합기로 구성하고 LO 신호의 억압과 출력단의 이득을 위하여 버퍼(buffer) 증폭기를 위치하였다. 측정 결과, 변환 이득 13.8 dB, P1dB_m -17 dBm, 전류 소모는 88 mA의 특성을 나타내었다.

Abstract

A lot of demand for parts of millimeter wave band, as would be expected 57~63 GHz band down conversion mixer was designed and fabricated using IHP 0.25 um SiGe process. Designed and fabricated mixer was double balanced type and located reduced 3D balun at RF port and buffer amplifier at outport for suppression LO signal and conversion gain. Fabricated mixer measured conversion gain of 13.8 dB, P1dB_m -17 dBm and 88 mA of current consumption characteristics, respectively.

Key words : Mixer, 60 GHz, Balun, SiGe

I. 서 론

정보 통신망의 통합은 데이터 전송 속도 및 이동성을 높이는 방향으로 발전하며, 초고속, 대용량, 무선 멀티미디어 통신에 대한 가입자의 수요 증가에 부응하고자 Tera 급 서비스가 가능한 정보 통신 기술로 발전될 전망이다. 이미 선진국들은 이와 같은 차세대 서비스인 WPAN(Wireless Personal Area Network), 무선 전송 방식의 Kios 등의 서비스를 준비 중에 있으며, 이러한 서비스에 가장 적합한 60 GHz 대역의 주파수 활용에 박차를 가하고 있다. 또한 60 GHz 대역은 반송파 주파수가 높아 허용 주파수 대역폭이 수 Gbps까지도 가능하기 때문에 초고속 데

이터 통신이나 멀티미디어 데이터 통신에 적합하며, 특히 산소 분자에 의한 흡수율이 높은 현상으로 주파수 재사용이나 보안에 강점을 가지고 있어 경제적인 시스템 구성이 가능하고 대역의 파장이 작아 안테나 및 송수신기의 소형화가 가능함과 동시에 기본적으로 저전력을 사용하게 되어 있어 인체에 미치는 영향이 작다. 또한, 60 GHz 대역은 전세계적으로 비인가 주파수 대역으로 규정하고 있어 각 국가간 통신 호환성과 상업성이 매우 큰 장점으로 부각되고 있다^[1].

이러한 밀리미터파 대역의 부품들은 그 주파수 특성 때문에 대부분 갈륨 비소(GaAs) 계열 화합물 반도체를 이용하는 것이 대다수였으나, 실리콘(Si) 계열

한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 무선RF탑재기술연구팀(Wireless & Satellite Payload Research Team, Broadcasting & Telecommunications Convergence Research Lab., ETRI)

*충남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20100906-127

· 교신저자 : 오승엽(e-mail : ohseung@cnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 10월 18일

의 반도체들이 경제성을 장점으로 나노 공정과 고저항 기관 등을 사용하여 밀리미터파 대역의 반도체 부품들을 대체하고 있다. 따라서 본 논문에서는 60 GHz 대역 부품 수요에 부응하고자 수신단 하향 변환 혼합기를 IHP사의 SiGe 0.25 μm 공정을 이용하여 설계 제작하였다.

II. 본 론

2-1 시스템 구성

그림 1은 설계 및 제작된 하향 변환기를 포함한 시스템 구성도이다. 57~63 GHz RF 신호가 안테나로 입력되면 LNA(Low Noise Amplifier)를 거쳐 혼합기에 인가된다. 이때 입력된 신호는 single tone으로 밸런스(balanced) 신호로 바꾸기 위한 발룬(balun)을 지나 혼합기의 RF(Radio Frequency) 단자로 입력된다. 혼합기에서 RF 신호 57~63 GHz와 50~56 GHz인 LO(Local Oscillator)가 혼합하여 주파수 7 GHz인 IF(Intermediate Frequency) 신호가 버퍼(buffer) 증폭기를 거치면서 증폭된다. 따라서 본 논문이 제시하고자 하는 하향 변환 혼합기의 구성은 발룬과 혼합기, 버퍼 증폭기로 구성되어 있다.

2-2 광대역 3D 발룬(Balun)

발룬(blun)이란 밸런스 시그널(balanced signal)을 언밸런스 시그널(unbalanced signal)로 변환해 주는 역할을 하며, 그 반대의 기능을 할 때도 발룬이라 칭한다. 본 논문에서 제작되는 혼합기는 밸런스(balanced) 타입으로 구성되어진다. 그림 1에서 보이듯이 입력된 신호는 single tone의 신호이므로 이를 발룬을 이용하여 RF 신호원이 각각 180도 차이가 나도록 밸런스 신호원으로 혼합기에 인가해 주어야 한다. 그

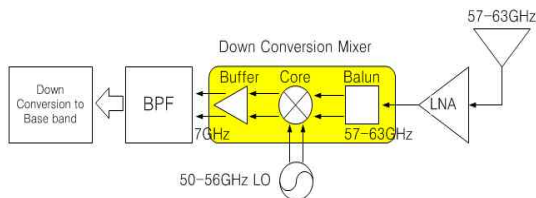


그림 1. 하향 변환기 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of down conversion system.

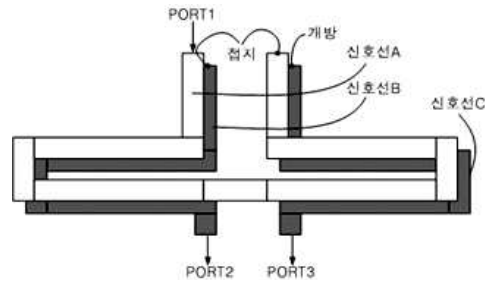


그림 2. 3D 광대역 발룬의 구성
Fig. 2. Configuration of 3D wide-band balun.

러나 일반적인 발룬은 트랜지스터나 4-극 하이브리드(4 port hybrid), rat-race 발룬 혹은 Lange 커플러로 구성하여 왔다^[2]. 그러나 트랜지스터를 사용하는 경우에는 두 개의 출력 차이가 너무 커 부가적인 회로를 삽입함으로써 전력 소모가 크며 전송선을 이용하여 한 평면상에 구성하는 경우에는 그 크기가 커지는 단점이 있다. 이 두 가지 경우 모두 회로의 집적도를 떨어뜨리는 결과를 가져오게 된다. 따라서 본 논문은 3차원 전송선으로 발룬을 구성하여 집적도를 높이고자 한다. 그림 2는 본 논문이 구성하고자 하는 광대역 3D 발룬의 구성도이다.

입력 신호원이 포트 1번에 인가되고 신호선 B와 3D 구조의 커플링을 이용하여 포트 2에 연결되며, 신호선 A와 신호선 B를 재차 커플링을 이용하여 포트3으로 연결된다. 이때 신호선 A와 커플링하는 신호선 B, 신호선 C는 포트 2, 포트 3의 반대편을 접지시키며 신호선 A의 반대편을 개방한다. 신호선 B, C의 전기적인 길이는 입력 신호원의 90도 위상차를 가지는 길이로 정한다^[3]. 그림 3과 그림 4는 각각 측정된 데이터 및 공정된 발룬의 사진이다.

측정은 Anritsu사의 37169A 회로망 분석기로 산란 계수(scattering parameter)를 on wafer 측정하였으며, 제작 후 실측된 발룬의 삽입 손실은 50~70 GHz에서 4.316~7.689 dB로 측정되었고, 밸런스 신호의 위상(phase) 차이가 180 \pm 5도로 관찰되었다. 또한, 크기는 측정을 위한 라인을 제외하고 접지면을 포함하여 400 \times 150 μm 이내이다. 따라서 제안되어 제작된 발룬은 일반적인 발룬에 비해 사이즈를 줄여 차후 집적도를 높이는 회로 구성에 유용할 것으로 판단되어진다.

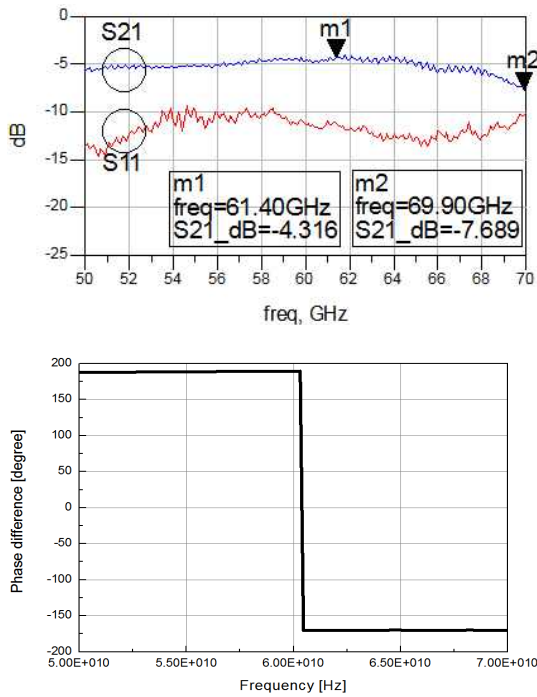


그림 3. 3D 광대역 발룬의 측정 데이터
Fig. 3. Measurements data of 3D wide-band balun.

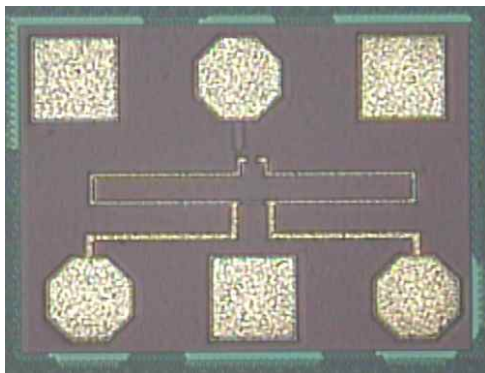


그림 4. 제작된 발룬 사진
Fig. 4. Photograph of balun.

2-3 60 GHz 대역 하향 변환 혼합기

그림 5와 같이 하향 변환 혼합기는 회로상 격리 특성이 우수한 두 개의 평형 혼합기(double balanced mixer)로 구성되어 있다^{[4],[5]}. 또한, 믹서 코어에서 출력단으로 나온 IF 신호의 증폭과 LO 신호의 억압을 위하여 버퍼 증폭기를 삽입함으로써 우수한 격리 특성을 얻었다. 그림 6은 제작된 하향 변환 혼합기

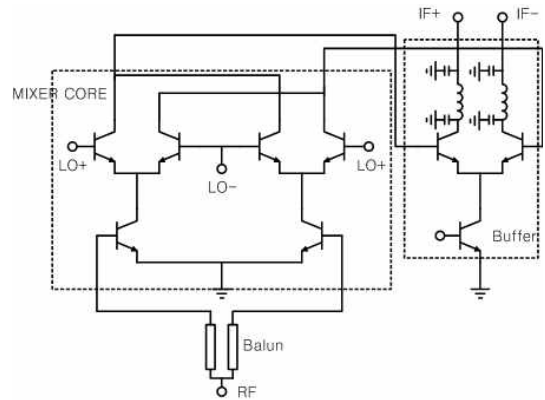


그림 5. 하향 변환 혼합기 회로도
Fig. 5. Circuit of down conversion mixer.

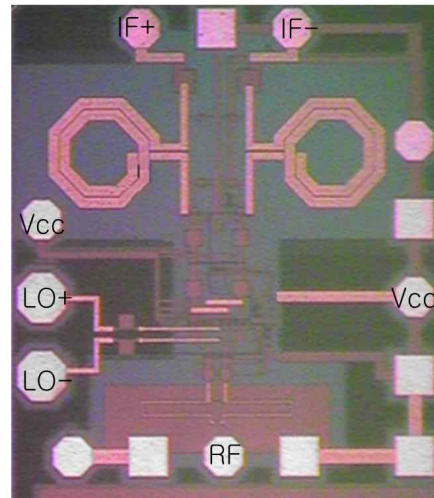


그림 6. 제작된 하향 변환 혼합기 사진
Fig. 6. Photograph of fabricated down conversion mixer.

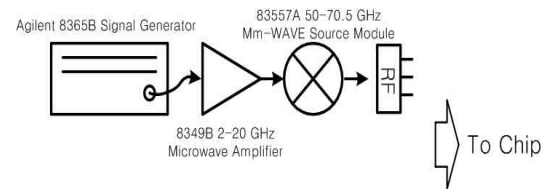


그림 7. 측정 구성도
Fig. 7. Setup for measurements.

의 사진이며, 크기는 측정 패드 포함하여 0.8×1.1 mm²이다.

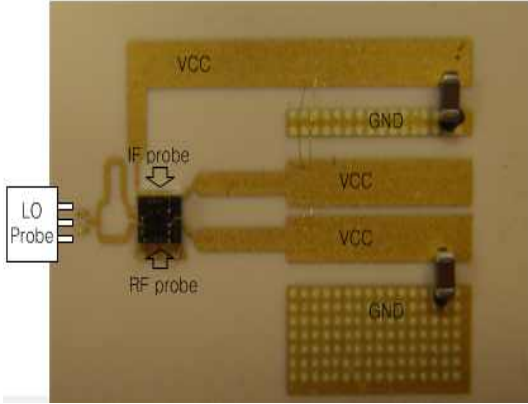
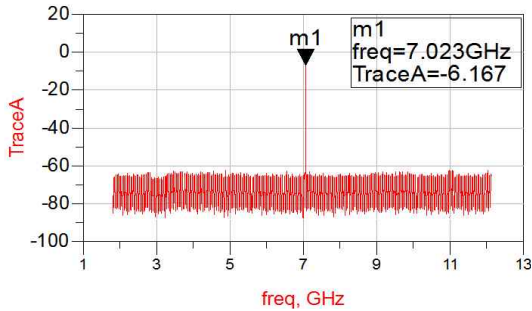
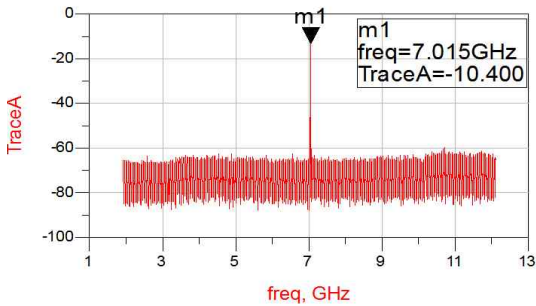


그림 8. 측정 기판
Fig. 8. Ceramic substrate for measurements.



(a) RF: 57 GHz(-20.28 dBm), LO: 50 GHz(+0.12 dBm)



(b) RF: 63 GHz(-20.36 dBm), LO: 56 GHz(-0.18 dBm)

그림 9. 하향 변환 혼합기 IF 출력 특성
Fig. 9. IF output characteristics of down conversion mixer.

측정은 밀리미터파 대역의 RF, LO 주파수의 전송선 삽입 손실을 계산하여 보정하였으며, IF 측정은 Agilent사의 주파수 스펙트럼 분석기 8565E를 사용하여 측정하였다. 또한, LO 주파수의 위상 변위를 위하여 세라믹 기판 위에 위상 지연 전송선을 삽입하였으며, 그림 7과 그림 8은 측정을 위한 구성도와 기판이다.

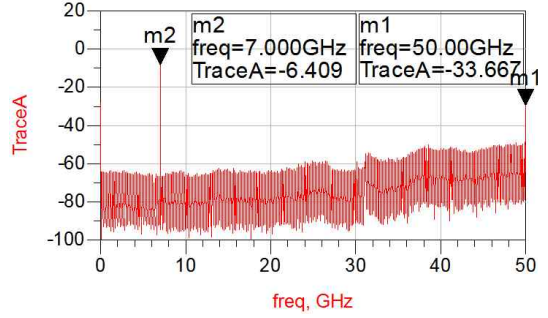


그림 10. IF&LO 특성(RF: 57 GHz -20.28 dBm, LO: 50 GHz +0.12 dBm)
Fig. 10. Characteristics of IF&LO(RF: 57 GHz -20.28 dBm, LO: 50 GHz +0.12 dBm).

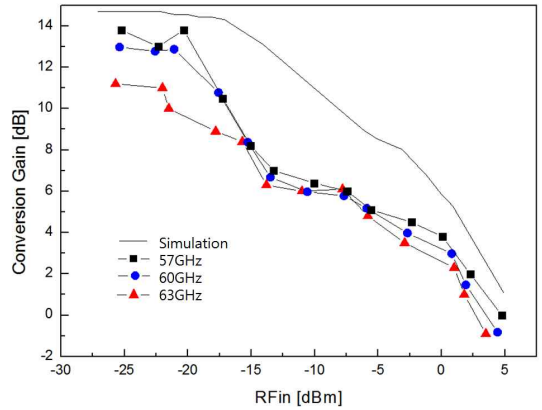


그림 11. 하향 변환 혼합기 변환 이득
Fig. 11. Conversion gain of down conversion mixer.

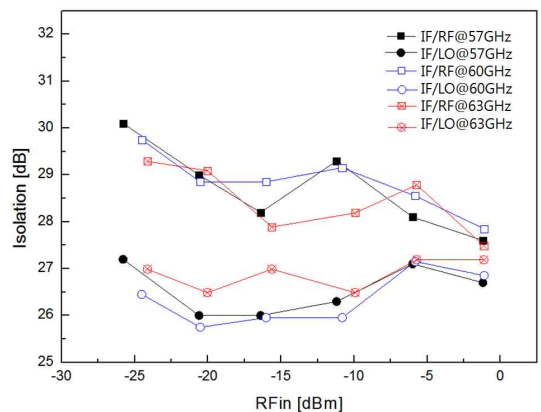


그림 12. IF to LO, IF to RF 격리 특성
Fig. 12. IF to LO, IF to RF isolation.

본 논문에서 제작된 하향 변환 혼합기는 RF 주파수 57~63 GHz, LO 주파수 50~56 GHz에서 약 0

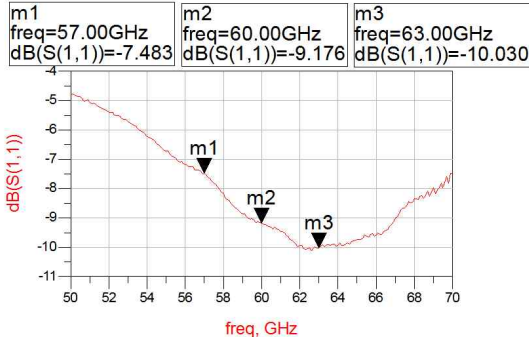


그림 13. RF 포트 정합 특성
Fig. 13. Impedance matching to RF port.

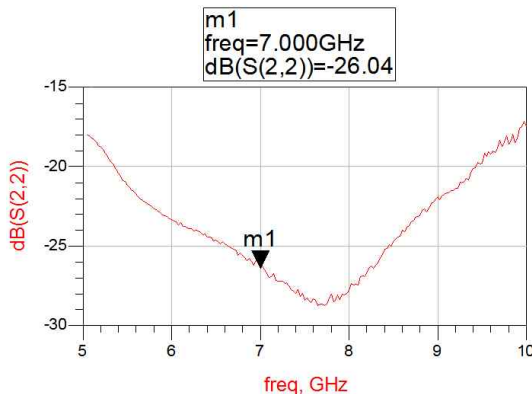


그림 14. IF 포트 정합 특성
Fig. 14. Impedance matching to IF port.

표 1. 하향 변환 혼합기 비교표

Table 1. Comparison of down conversion mixer.

Parameters	Reference [6]	Reference [7]	This
RF [GHz]	61.5	60	57~63
Conversion gain [dB]	16	4	13.8
P1dB _{in} [dBm]	-17	-5	-17
Current consumption [mA]	115	5	88
Chip size [mm ²]	1.9×1.65	1.0×0.7	0.8×1.1
Architecture	Double balanced	Single balanced	Double balanced

dBm 인가시 RF-IF 변환 이득이 각각 13.8 dB, 9.6 dB로 측정되었으며, LO와 IF의 격리 특성은 약 27 dB의 특성을 나타내었고, 그림 9, 10에 출력 특성을 도식하였다. 또한, RF 입력 변화에 따른 변환 이득을 그림 11에 표시하였으며, 설계된 모의 실험대비 약 2~7 dB의 차이를 보이고 있으나, 이는 Si 기판의 전

표 2. 60 GHz 대역 하향 변환 혼합기 특성표

Table 2. Characteristics of down conversion mixer for 60 GHz band.

RF frequency	57~63 GHz
LO frequency	50~56 GHz
IF frequency	7 GHz
Conversion gain	13.8 dB
IF to LO isolation	27 dB
IF to RF isolation	30 dB
P1dB _{in}	-17 dBm
DC	3.2 V, 88mA
Size	0.8×1.1 mm ²

송선 모델 부정확의 차이로 보여지며, RF 입력 파워 약 -17 dBm 근처에서 P1dB가 관찰되었다.

그림 12에 보여지는 바와 같이 IF 주파수와 LO 주파수의 격리 특성은 측정은 27 dB 근처에서 측정되었으며, IF 주파수와 RF 주파수의 격리 특성은 29 dB 근처에서 보여졌다. 또한, RF 포트와 IF 포트의 정합 특성은 그림 13, 14와 같이 각각 -7.5~-10 dB, -26.04 dB로 관찰되었다. 또한, 표 1은 보고된 문헌과 본 논문에서 제작된 특성을 비교 분석하였다.

III. 결 론

본 논문은 IHP 0.25 μm SiGe 공정을 이용하여 ISM 밴드의 RF 57~63 GHz를 50~56 GHz LO를 사용하는 IF 7 GHz의 하향 변환 혼합기를 설계 및 제작하였다. 제작된 하향 변환 혼합기는 크기를 줄인 발룬을 3D로 제작하여 RF 입력단에 위치하였으며, 혼합기를 두 개의 평형 혼합기로 구성하고 LO 신호의 억압을 위하여 버퍼 증폭기를 출력단에 위치하였다. 표 2는 측정된 혼합기의 특성을 요약한 것이다. 측정 결과 변환 이득 13.8 dB, P1dB_{in} 약 -17 dBm, IF/LO 격리 특성 27 dB, IF/LO 격리 특성 30 dB, RF 정합 특성 -10 dB, IF 정합 특성 -26 dB, 마지막으로 3.2 V 인가시 전류 소모는 88 mA로 측정되었다. 60 GHz 대역은 산소 분자의 흡수 주파수 대역으로 각 나라에서 비허가 대역으로 지정하고 있어 그 상업성이 우수하여 부품 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 경제성을 장점으로 하는 Si 계열의 공정을 이용함으로써 차후 Bi-cmos 공정으로 PLL(Phase Lock

Loop)을 함께 집적할 경우 부가적인 회로가 불필요하여 상업성이 우수할 것으로 생각되어진다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.12 Web site: <http://www.ieee802.org/15>
- [2] M. C. Tsai, "A new compact wide-band balun", *IEEE Microwave Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symp. Dig.*, pp. 123-125, 1993.
- [3] Pei-Si Wu, "Compact and broad-band millimeter-wave monolithic transformer balanced mixers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 10, pp. 3106-3114, Oct. 2005.
- [4] B. Gilbert, "The micromixer: A highly linear variant of the gilbert mixer using a bisymmetric Class-AB input stage", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 32, no. 4, pp. 1412-1423, Sep. 1997.
- [5] P. J. Sullivan, "Active double balanced mixers for CMOS RFICs", *Microwave Journal*, Jun. 1997.
- [6] B. Floyd, et al., "SiGe bipolar transistor circuits operating at 60 GHz", *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 40, no. 1, pp. 156-167, Jan. 2005.
- [7] V. Subramanian, et al., "60 GHz SiGe HBT down-conversion mixer", *Proceeding of the 2nd European Microwave Integrated Circuits Conference*, pp. 76-79, Oct. 2007.

지 흥 구



1998년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2000년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2008년 2월: 충남대학교 전자공학과 박사수료
 2000년 8월~현재: 한국전자통신연구원

연구원 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로, MMIC 회로 등

오 승 업



1971년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1973년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1982년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년~1986년: 미국 Pennsylvania State University Guest Researcher

1984년~현재: 충남대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 회로, 초고주파 Sub-system Design 등