

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.3.29>
JIIBC 2021-3-5

W-대역 전력증폭 및 저잡음증폭 MMIC의 국내개발 및 모듈 제작 결과

Domestic Development and Module Manufacturing Results of W-band PA and LNA MMIC Chip

김완식*, 이주영*, 김영곤*, 유경덕*, 김종필*, 서미희**, 김소수**

Wansik Kim*, Juyoung Lee*, Younggon Kim*, Kyungdeok Yu*,
Jongpil Kim*, Mihui Seo**, Sosu Kim**

요약 소형 레이더 센서에 적용할 목적으로 W-대역의 핵심부품인 전력증폭 MMIC 칩 및 스위치 및 저잡음 증폭 MMIC 통합 칩을 국내설계하고 각각 OMMIC사의 60nm GaN 공정과 Winsemi.사의 0.1 μ m GaAs pHEMT 공정으로 제작하고 이를 모듈화하였다. 국내개발 MMIC 중에서 W-대역 전력증폭 MMIC는 송신모듈로 제작후 출력 값 27.7 dBm로 측정되었고, 스위치와 저잡음증폭 통합 MMIC는 수신모듈로 제작후 잡음지수는 9.17 dB로 분석 결과와 근사한 측정 결과를 보였다. 또한 온도 시험을 통해서 그 결과를 분석하였는데 송신모듈은 고온에서 상온과 출력에서 1.6 dB 편차를 보였고 수신모듈은 고온과 저온 모두 포함하여 2.7 dB의 편차를 보였으나 상온과 비교하여서는 1.4 dB 상승하였다. 온도시험까지를 포함하는 결과를 확인한 바와 같이 소형 레이더 센서의 송수신기에 W-대역 국내 개발 MMIC 칩을 적용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract For the purpose of Application to the small radar sensor, the MMIC Chips, which are the core component of the W-band, was designed in Korea according to the characteristics of the transceiver and manufactured by 60nm GaN and 0.1 μ m GaAs pHEMT process. The output power of PA is 28 dBm at center frequency of W-band and Noise figure is 6.7 dB of switch and LNA MMIC. Output power and Noise figure of MMIC chips developed in domestic was applied to the transmitter and receiver module through W-band waveguide low loss transition structure design and impedance matching to verify the performance after the fabrication are 26.1~27.7 dBm and 7.85~10.57 dB including thermal testing, and which are close to the analysis result. As a result, these are judged that the PA and Switch and LNA MMICs can be applied to the small radar sensor.

Key Words : GaN, GaAs pHEMT, MMIC, W-band, W/G Transition loss

*정회원, LIG넥스원(주)

**비회원, 국방과학연구소

접수일자 2021년 3월 24일, 수정완료 2021년 4월 24일
게재확정일자 2021년 6월 4일

Received: 24 March, 2021 / Revised: 24 April, 2021 /

Accepted: 4 June, 2021

*Corresponding Author: wansik.kim2@lignex1.com

Dept. of Radar R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

I. 서 론

밀리미터파 레이더는 대부분 차량용 자동차에 장착하여 송신파와 수신파를 비교하고 이로부터 획득된 수신 비트와 도플러 신호를 이용하여 전방차량과 거리 및 상대속도를 파악하여 차량의 충돌을 방지하거나 위험을 알려주는 역할을 하며 최근에는 자율주행을 가능하게 하는 핵심 기술이다. 밀리미터파를 이용하는 레이더 센서는 대부분 W-대역을 사용하며 이 주파수 대역에서 지속적으로 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내의 경우 2001년 4월 전파법 제 9조의 규정에 의거 정보통신부 고시 제 2001-21호에서 W-대역을 차량레이더용으로 권고하였다.^[1]

차량용 레이더는 유럽을 선두로 W-대역의 밀리미터파를 활용하고 있으며, 이제는 밀리미터파 센서의 구현 방안 중 가격과 성능 면에서 많은 대안을 간구하고 준비되고 있다.^{[2][3][4]} 현재 일부 MMIC 칩 제작 업체에서 다채널 단일 칩을 공급하기는 하지만, 방산분야에는 공급이 제한적으로 송수신기에 적합한 MMIC 칩의 확보가 어려운 한계가 있으므로 국내에서는 확보하기 어려운 송신용 전력증폭 MMIC 칩과 수신용 단일 MMIC 칩을 개발한바 있으며,^{[5][6]} 이 칩들을 적용하여 W-band의 다채널 송수신모듈을 개발하고 전이구조 특성을 분석하여 시험된 전기적 특성을 비교 제시한바 있다.^{[7][8][9][10][11]} 본 논문에서는 소형 레이더 센서에 적용하기 위한 W-대역의 핵심부품인 송신용 전력증폭 MMIC와, 수신용 스위치+저잡음증폭 MMIC의 각 성능을 향상시키기 위한 목적으로 개발하였다. 또한 국내 개발된 MMIC 칩을 이용하여 송/수신용 모듈을 제작하였으며, 이를 위하여 안테나 연결로부터 MMIC까지 W-대역의 전이구조 손실을 최소화되도록 설계하였고 제작하여 전기적 성능 및 온도 시험까지 성능을 측정하였다.

II. W-대역 MMIC 칩의 국내개발 결과

W-대역의 소형 레이더 센서용 송수신기에 필요한 송신, 수신모듈 MMIC 칩을 각 특성에 맞게 개발하였다. 송신모듈은 OMMIC 사의 GaN 60 nm를, 수신모듈에 필요한 MMIC는 WinSemi. 사의 0.1 μ m의 GaAs pHEMT 소자 기술을 기반으로 국내 설계 후 제작되었다.

송신모듈에 활용하기 위한 W-대역 전력증폭 MMIC는 높은 주파수 대역에서 단일 트랜지스터 얻을 수 있는 출력 전력이 작기 때문에 충분한 출력 전력을 얻기 위해서는 전력 결합을 통한 여러 개의 증폭기를 결합하는 방법이 주로 이용된다. 이중 전압 결합 방식은 여러 개의 트랜지스터의 출력 전압을 결합시켜 동일한 전류에서 높은 전력을 얻는 방식이다. 하지만 이러한 방식은 높은 주파수 대역에서는 각 트랜지스터 사이에서의 정합의 구현이 어렵고, 레이아웃에 의한 위상 변화에 민감하다는 문제가 있다. 이 때문에 높은 주파수 대역에서는 윌킨슨(Wilkinson) 분배기를 이용한 전력 결합 방식을 활용하여 고출력의 전력증폭 MMIC를 설계를 하였고 그림 1(a)와 같이 제작하였다. 결과적으로 그림 2(a)와 같이 28.0 dBm의 측정 결과를 보였다.

수신모듈에 활용하기 위하여 W-대역 MMIC인 스위치와 저잡음증폭기를 통합한 단일 칩 그림 1(b)와 같이 제작하였다. 이 경우 잡음지수를 결정하는 가장 핵심적인 요소는 스위치의 삽입손실과 저잡음증폭기의 잡음지수이며, 이를 위하여 삽입손실과 잡음지수를 억제하기 위한 회로를 구현하였다. 국내개발된 스위치와 저잡음증폭기를 통합한 단일 칩의 잡음지수는 특성은 그림 2(b)에서와 같이 중심주파수에서 6.5 dB가 측정되었다. 표 1은 MMIC의 국내 개발 결과이다.

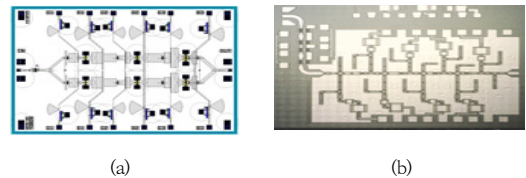


그림 1.(a) 전력증폭 MMIC (b) 스위치+저잡음증폭 MMIC
Fig. 1.(a) Power MMIC (b) SW+LNA MMIC

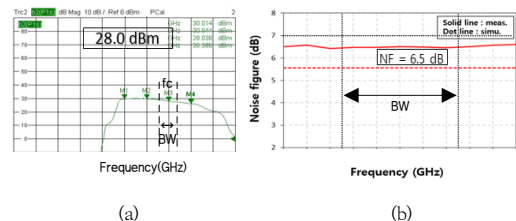


그림 2. 측정 결과 (a) 전력증폭 MMIC (b) 스위치+저잡음증폭 MMIC
Fig. 2. Test results of (a) Power Amplifier MMIC and (b) SW+LNA MMIC

표 1. 국내 개발된 전력증폭 및 스위치/저잡음증폭기 통합 MMIC 특성

Table 1. Characteristics of MMIC developed for transceiver

구 분		단위	국내개발 MMIC	비고
전력증폭	출력	[dBm]	28.0	그림 2(a)
	이득	[dB]	15.9	
스위치+저잡음 증폭기	잡음지수	[dB]	6.5	그림 2(b)
	이득	[dB]	18.0	

III. W-대역 모듈 제작 결과

국내 개발된 전력증폭 MMIC 및 스위치 및 저잡음증폭 MMIC를 활용하여 송/수신 모듈을 제작하였다. 송신 모듈에서 집적화 방식은 전력증폭 MMIC 기반의 하이브리드를 집적화하는 방식으로 유텍틱 본딩을 270℃ 이상에서 조절하였고 유전체 기판 및 하우징 패키징을 적용하여 구현하였다. ADS 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 MMIC의 입력 및 출력에 공액 접합을 통한 최적의 매칭회로를 설계하였고, 모듈 설계 시에는 W-대역에서의 본딩 와이어가 높은 인덕터 성분으로 동작하기 때문에 병렬성분의 스트리브와 얇은 선폭을 이용한 높은 임피던스의 전송선을 이용한 저역통과필터 타입의 매칭회로로 구현하고 제작하였다. 출력 전력 성능 향상을 위해 최적의 임피던스 정합을 통한 저손실 특성의 전송선로 및 전이구조를 구현하였다. 송신모듈은 최적의 임피던스 정합을 통한 저손실 특성의 전송선로 및 전이구조를 가져야 출력 전력의 성능을 향상시킬 수 있다. 송신 모듈에서 구현된 전이 구조 및 본딩와이어 임피던스 정합 방식을 적용하여 같은 방법으로 스위치와 저잡음증폭기 통합 MMIC를 포함한 수신모듈을 그림 4와 같이 제작하였다.

W-대역의 송/수신모듈에서는 국내개발 MMIC를 적용하기 위하여 마이크로스트립 라인과 사이에 최적 본딩 손실을 고려한 제작이 필요하며, 그림 5는 이의 검증을 위하여 분석 및 측정을 통하여 본딩 손실은 약 0.7dB 임을 검증하였다. 또한 MMIC를 모듈에 집적화하고 용이한 측정을 위해 도파관 형태로 구성되어야 하므로, E-probe 방식을 이용한 도파관(W/G)-마이크로 스트립라인(MSTL) 전이구조를 설계 및 제작하여 검증하였다. Back-short을 PCB 기판위에 장착하고, 입출력 신호는 PCB 및 기구물 아래로 연결되도록 하였다.

그림 6은 W-대역 MMIC부터서 마이크로 스트립라인과 도파관까지의 전이구조에 관한 설계 및 제작 결과이다. 도파관 전이구조 관련기술은 여러 가지 방법이 있으나 대부분 Back short을 포함하는데 CST 시뮬레이션 SW를 이용하여 전이구조의 형상을 설계하였다. 측정 결과 back-to-back 전이구조의 손실은 2.43 dB 이며, W대역에서의 마이크로 스트립 라인의 손실을 감안하면 (18 mm 선로 = 1.8 dB 손실) 전이구조의 한쪽의 손실은 0.3 dB 정도임을 알 수 있다.

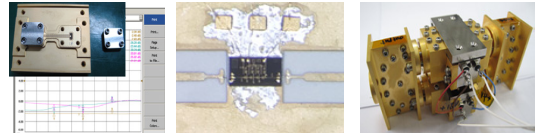


그림 3. W-대역 MMIC 칩을 적용한 송신용 모듈 형상
 Fig. 3. Configuration of transmitter with W-band MMIC chips



그림 4. W-대역 MMIC 칩을 적용한 수신용 모듈 형상
 Fig. 4. Configuration of receiver with W-band MMIC chips

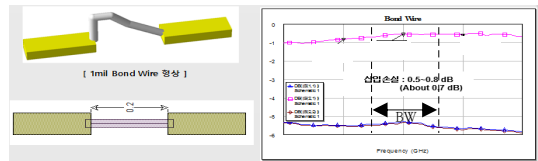


그림 5. W-대역 본딩 손실 측정을 위한 치구 및 측정 결과
 Fig. 5. Test fixture and results of Wire bonding at W-band

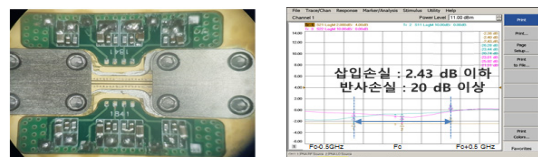


그림 6. 안테나연결 W/G에서 MMIC까지 전이구조 측정결과
 Fig. 6. Test Results of W-band Waveguide transition for antenna

표 2. 송신모듈의 전력증폭 MMIC 칩에서 W/G까지 전력준위 및 이득 분석

Table 2. Transition loss characteristics from Antenna waveguide transition to fabricated MMIC of Transmitter Module

송신모듈	출력전력 분석	이득 분석	참고
전력증폭 MMIC	28.0 dBm	15.9 dB	그림 2(a)
도파관 전이구조	-0.3 dB	-0.3 dB	그림 6
와이어 본딩 (150 μm) (3 mil)	-0.7 dB	-0.7 dB	그림 5
MSTL	-0.6 dB	-0.6 dB	6 mm
도파관 전이구조	-0.3 dB	-0.7 dB	그림 6
예상 결과	26.1 dBm	12.9 dB	상온조건

표 3. 수신모듈의 안테나 W/G에서 MMIC 칩까지 잡음지수 및 이득 분석

Table 3. Transition loss characteristics from Antenna waveguide transition to fabricated MMIC of receiver module

수신모듈	잡음지수 분석	이득 분석	참고
도파관 전이구조	0.30 dB	-0.3 dB	그림 6
MSTL	0.80 dB	-0.8 dB	8 mm
와이어 본딩 (200 μm) (1 mil)	0.70 dB	-0.7 dB	그림 5
스위치+저잡음증폭 MMIC	6.70 dB	18.0 dB	그림 2(b)
와이어 본딩 (200 μm) (1 mil)	0.70 dB	-0.7 dB	그림 6
예상 결과	9.20 dB	15.5 dB	상온조건

표 2는 그림 3와 4의 형상에서 그림 5에서 그림 6까지의 전이구조, 본딩 손실 특성을 고려한 송신모듈 출력 전력 분석 결과이다. 22.3 dBm의 전력증폭 MMIC를 활용하고 설계 및 제작된 전이구조를 포함하여 25.8 dBm의 출력전력 레벨 그리고 이득은 12.9 dB이다.

표 3은 수신모듈의 형상조건으로 안테나에서 MMIC 칩까지의 잡음지수 및 이득을 분석한 결과로 수신모듈의 잡음지수는 9.20 dB 그리고 이득은 15.5 dB이다.

IV. 실험 및 결과

그림 3과 4는 제작된 송/수신모듈의 형상이다. 송신 모듈은 국내개발 전력증폭 MMIC를 포함하는 단위 캐리어를 이용하여 제작하였고, 수신모듈은 국내개발 스위치 및 저잡음증폭 MMIC와 혼합기 MMIC를 단위 캐리어로 하여 제작하였다. 실험 결과로 그림 7(a)와 같이

송신모듈은 출력전력은 27.7 dBm 그리고 수신모듈의 잡음지수는 그림 7(b)와 같이 9.1 dB로 측정되었다.



그림 7. 송신모듈(a)와 수신모듈(b) 측정 결과
Fig. 7. Test Results of Tx Module(a) and Rx Module(b)

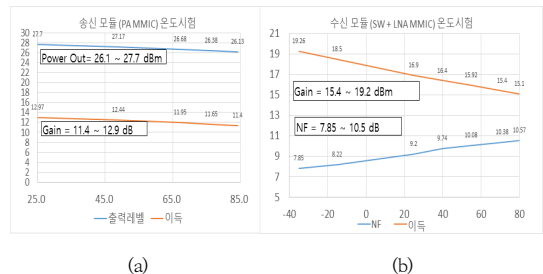


그림 8. 송신모듈(a)와 수신모듈(b) 온도시험 결과
Fig. 8. Thermal Test Results of Tx Module(a) and Rx Module(b)

표 4. 국내개발 송신용 칩을 이용한 출력전력 분석 및 측정 결과
Table 4. Output power analysis and measurement results using developed power amplifier MMIC Chip

구분		출력전력	이득	참고
송신용 모듈 (PA MMIC 포함)	분석값 (상온: +25°C)	26.1 dBm	14.1 dB	표2
	측정값 (상온: +25°C)	27.7 dBm	12.9 dB	그림7(a)
	측정값 (고온: +80°C)	26.1 dBm	11.4 dB	그림8(a)

표 5. 국내개발 수신용 칩을 이용한 잡음지수 분석 및 측정 결과
Table 5. Noise figure analysis and measurement results using developed low noise amplifier MMIC Chip

구분		잡음지수	이득	참고
수신용 모듈 (스위치+저잡음증폭 MMIC 포함)	분석값 (상온: +25°C)	9.20 dB	15.5 dB	표3
	측정값 (상온: +25°C)	9.17 dB	16.9 dB	그림7(b)
	측정값 (저온: -35°C)	7.85 dB	19.2 dB	그림8(b)
	측정값 (고온: +80°C)	10.57 dB	15.1 dB	그림8(b)

그림 8은 제작된 송/수신모듈의 온도 시험결과를 나타낸 것으로 송신모듈은 그림 8(a)에서 고온 시험 결과를 그리고 수신모듈은 그림 8(b)에서 저온/고온 포함하

여 시험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 즉 측정된 송신모듈의 출력은 표 4에서 정리한 바와 같이 27.7 dBm으로 상온 조건에서 분석된 26.1 dBm 보다 우수한 결과를 보였는데, 이는 전력증폭 MMIC의 샘플 측정에 따른 개별 오차로 판단된다. 또한 고온에서는 1.6 dB 낮아진 26.1 dBm 으로 분석 값과 비슷한 결과를 보였다. 측정된 수신모듈의 잡음지수는 표 5에서 정리한 바와 같이 9.17 dB으로 분석된 9.20 dB와 유사한 값을 보였고 고온과 저온에서 최대 2.7 dB 정도의 차이를 보였으나 상온 대비하여서는 1.4 dB 정도 열악해지는 결과를 보였다. 국내개발 MMIC를 적용하여 송신모듈과 수신모듈에 W-대역의 도판관 전이구조를 적용하여 개발하였다. 결과적으로 송신모듈과 수신모듈 모두에서 분석 결과와 측정 결과가 유사한 결과를 보였으며 온도 시험까지 포함하는 시험을 수행하였으며 해외 Chip 과 비교하여서도^[11] 우수한 성능을 보여줌으로서 국내 개발 MMIC를 적용하여 소형 레이더 센서에 적용 가능한 성능을 보임을 확인하였다.

V. 결 론

W-대역의 소형 레이더 센서에 적용 가능한 핵심부품의 국내개발을 위하여 송신 및 수신용 W-대역 MMIC 칩을 60nm GaN 및 0.1 μ m GaAs pHEMT 해외공정을 이용하여 개발하였다. W-대역 전력증폭 MMIC 및 스위치와 저잡음증폭 MMIC를 모듈화 설계 제작하고 이를 분석 및 측정하였으며 특히 고온 및 저온 온도 시험까지를 포함하여 그 특성을 분석하여 우수한 성능을 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 국내 개발된 W-대역 MMIC 칩을 시체에 적용하여 출력전력, 잡음지수, 이득 값 등 상온 및 저온 고온 등의 온도 시험 등으로 전기적 성능을 검증하고, 국내개발 MMIC를 적용 시 소형 레이더 센서 시스템에 우수하게 활용될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] An Official Gazette No 16322, Radio Wave Research Institute No 2006-84, 2006. 8. 23.
- [2] J. Y. Hong, "Millimeter Radar Technology Trend for Forward Surveillance," ETRI Journal, Vol.22, No.5, Oct. 2007, pp.35-45.
- [3] Sangho Lee, "W-band dual channel receiver with

active power divider and on-chip temperature-compensation circuit," (To be published)

- [4] Hong-Gu Ji "Monolithic Integrated Amplifier for Millimeter Wave Band", The Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 11, No. 10, pp. 3917-3922, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10..3917>.
- [5] Seokchul Lee "W-band dual-channel receiver with active power divider and temperature-compensated circuit" Electronics Letters. Vol. 52, No. 10, May 12, 2016
- [6] Jungsik Kim "W-band Power Amplifier Using Broadband Impedance-Transforming Coupled Line Couplers" MOTL. Vol. 57, No. 4, April, 2015
- [7] Seokchul Lee "W-band Multichannel FMCW Radar Sensor with Switching-TX Antennas," IEEE Sensor Journal. Vol. 16, No. 14, July 15, 2016
- [8] Wansik Kim, "Analysis and Development Results of W-band Transceiver Module using Open MMIC", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 18, No. 6, pp. 163-168, Dec 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.163>.
- [9] Wansik Kim, "HPA MMIC to W/G antenna Transition Loss Analysis and Development Results of W-band Transmitter Module", International Journal of Advanced Culture Technology, Vol. 7, No. 4, pp. 236-241, July 2019.
DOI: <https://doi.org/10.17703/IJACT.2019.7.4.236>.
- [10] Wansik Kim, "Development of W-band Transceiver Module using Manufactured MMIC", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 17, No. 2, pp. 233-237, Apr 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.233>.
- [11] Wansik Kim, "Development and Manufacture of W-band MMIC Chip and manufacture of Transceiver", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 19, No. 6, pp. 175-181, Dec 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.6.175>.

저 자 소 개

김 완 식(정회원)



- 1991년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2004년 2월: 건국대학교 정보통신공학과 (공학박사)

- 2001년 12월: 고등기술연구원 책임연구원
- 2005년 8월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원
- 주 관심분야 : 초고주파 회로설계, RF/밀리미터파 시스템, MMIC, 레이더 및 관련 센서 시스템

이 주 영(정회원)



- 2005년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
- 2007년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학석사)
- 2007년 1월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 집적회로, 영상레이더, 위성시스템

김 영 곤(정회원)



- 2006년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

- 2013년 1월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원
- 주 관심분야 : 초고주파 회로설계, 초광대역 소자, 마이크로파 송수신기

유 경 덕(정회원)



- 2001년 8월: 한국기술교육대학교 정보통신학과 (공학사)
- 2005년 8월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 8월~2010년10월: 엘지전자 MC사업부

- 2010년 4월~현재: LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 위성시스템, 영상레이더

김 종 필(정회원)



- 1997년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
- 2011년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 1월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원

- 주 관심분야 : 레이더 및 반도체송수신모듈

서 미 희(비회원)



- 2006년 2월 : 고려대학교 물리학과 (이학사)
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 2013년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 송수신기

김 소 수(비회원)



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학박사)

- 1996년 1월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원
- 주 관심분야 : 초고주파 시스템

※ 본 연구는 국방과학연구소 계약번호 UC170028FD에 의하여 지원된 과제로 수행되었습니다.