

논문 2005-42TC-3-6

# 마이크로머시닝 기술을 이용한 새로운 형태의 밀리미터파 적용을 위한 180° 링 하이브리드 결합기의 설계와 제작에 관한 연구

(Study on the Design and Fabrication of 180° Hybrid Ring Coupler  
using MEMS Technology for millimeter wave applications)

고 백 석\*, 백 태 종\*, 임 병 옥\*, 김 성 찬\*, 신 동 훈\*\*, 이 진 구\*\*\*

(Baek Seok Ko, Tae Jong Baek, Byeong Ok Lim,  
Sung Chan Kim, Dong Hoon Shin, and Jin Koo Rhee)

## 요 약

본 논문에서는 표면 마이크로 머시닝 기법으로 구현된 DAML (Dielectric-supported Airbridge Microstrip Line) 형태의 새로운 구조를 이용하여 180° 링 하이브리드 결합기를 설계 및 제작 하였다. DAML 구조로 이용하여 제작된 결합기는 60 GHz 중심 주파수에서 3.58 dB의 S31과 3.31 dB의 S21과 61 GHz에서 16.17 dB 이상의 S11과 55 dB 이상의 S41를 얻을 수 있다. 결합기의 크기를 줄이기 위하여 slow wave 구조가 삽입된 결합기를 설계 제작하였으며 크기를 33% 정도 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있었다.

## Abstract

In this paper, we have designed and fabricated a hybrid ring coupler to prove the fabrication possibility of various passive components, applying millimeter wave using newly proposed transmission lines, i.e. DAMLs. The characteristics of the fabricated hybrid ring coupler were a the S31(coupling) of 3.58 dB, the S21(thru) of 3.31 dB at the 60 GHz center frequency, the S11(return loss) over 16.17 dB, S41(isolation) over 55 dB at 61 GHz, and the phase difference between port 2 and port 3 of 180±10at 60 GHz. In order to reduce the size of hybrid ring coupler, we designed the hybrid ring coupler which inserts a slow wave structure. With this structure, we were able to reduce the hybrid ring coupler by 33 % area.

**Keywords:** MMIC, Surface MEMS, Microstrip line, DAML, Slow Wave Structure, coupler

## I. 서 론

최근의 통신 시장의 급속한 발전으로 가용주파수 대역의 불가피한 확장이 이루어 졌으며 이로 인한 밀리미터파 대역의 연구가 활발히 진행되고 있다. 한 능동소자 및 수동소자를 한 곳에서 집적화 하여 시스템의 소형

화와 저가격화를 실현 할 수 있는 MMICs (Monolithic Microwave Integrated circuits) 기술의 발전이 필수적으로 요구되었다. 그러나 현재의 MMICs 회로는 수동소자의 크기와 구조가 제한 되어 집적화가 어려운 문제점이 발생되었다. 이러한 수동소자의 문제점들을 개선시키기 위하여 구조의 제약이 자유로우며 고성능 소자의 제작이 이로운 표면 마이크로 머시닝 (surface micromachining) 기술을 이용하여 수동소자 제작의 문제점들을 해결하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 고주파 집적회로에서의 저 손실 및 우수한 특성을 얻기 위하여 가장 기본이 되는 분야가 전송 선로이며 밀리미터파 대역에서의 전송선로를 통한 신호 손실을 최소화하기 위한 노력이 여러 연구 그룹에서 이루어

\* 학생회원, \*\* 정회원, \*\*\* 중신회원  
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터  
(Millimeter-wave INnovation Technology research center, Dongguk University)

※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었음.

접수일자: 2004년8월11일, 수정완료일: 2005년1월21일

어지고 있다<sup>[2-4]</sup>. 그러나 여러 연구 그룹에서 제안된 전송선로 구조는 고주파에서 손실 특성에 관해서는 매우 좋은 특성을 보여 주고 있지만, 이러한 구조는 공정과정이 매우 복잡하여서 MMIC 회로에 적용하기에는 매우 어려운 점이 있다. 최근에 우리는 공정 과정이 기존의 MEMS 공정에 비해 간단하며 MMIC 회로에 적용 가능한 구조를 제안 하였다<sup>[5]</sup>. 제안된 구조는 마이크로스트립선 형태로서 신호선과 ground 사이에 유전체 지지대를 사용하였고, 마이크로머시닝 기술을 이용하여 신호선을 공기 중으로 띄우면서 기판의 손실을 최소화 하였다. 지지대 부분을 제외한 나머지 부분을 air-gap을 이용하여 유전체에 의한 손실을 최대한으로 줄일 수 있는 air-bridge 형태의 전송선을 제작 하였다.

본 논문에서 새롭게 제안한 전송선은 높은 주파수에서도 여러 가지 수동소자의 제작 가능성을 증명하기 위하여 DAML을 이용하여 180° 링 하이브리드 결합기를 제작하였다. 이러한 방법으로 제작된 180° 링 하이브리드 결합기는 유전체에 의한 손실을 최소화시킴으로 인한 삽입 손실을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 180° 링 하이브리드 결합기를 다른 능동소자와 단일 칩 하기 위해서는 소형화가 필수적인데 180° 링 하이브리드 결합기의 소형화를 위하여 slow wave 구조를 삽입하여 제작 하였으며 제작된 결과를 그렇지 않은 경우와 서로 비교 분석하였다.

## II. 설계 및 제작

제안된 전송선의 구조는 기존의 마이크로스트립 구조에서 필드가 유전체를 매질로 하여 전송되는 것과 달리 신호선을 MEMS 기술을 이용하여 폴리이미드 유전체에 의해서 공기 중으로 올려서 공기를 전송의 매질로 사용하여 유전체에 의한 손실을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 구조적으로 마이크로스트립 구조를 갖지만 동일 평면에 전송선과 접지 면이 있기 때문에 via-hole과 같은 복잡한 공정 없이 간단히 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 이용한 DAML 구조는 그림 1에서 보여주고 있다. 제안된 DAML는 크게 접지면 금속, 유전체 지지대, 신호선 금속의 세 부분으로 구성되어 있다.

제안된 DAML 구조의 파라미터 즉 특성 임피던스 ( $Z_0$ ), 삽입손실 (dB/cm)과 유효유전상수 ( $\epsilon_{eff}$ ) 등은 Ansoft사의 HFSS EM-simulation 을 이용하였다. 60 GHz일 때, 신호선의 폭을 30  $\mu\text{m}$ 로 일정하게 놓고 신호

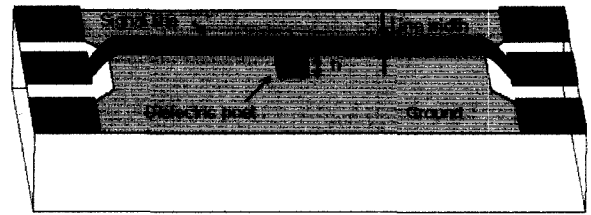


그림 1. 제안된 DAML 구조  
Fig. 1. The proposed DAML structure.

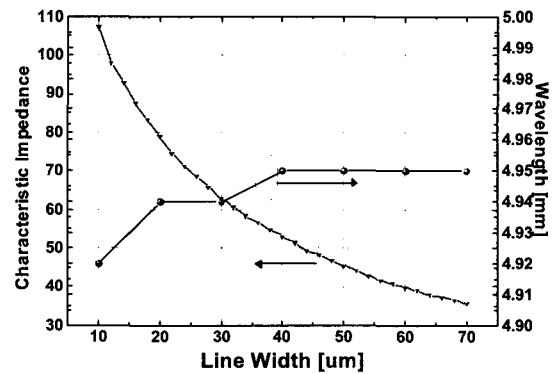


그림 2. 60 GHz에서 10  $\mu\text{m}$ 의 높이와 7  $\mu\text{m}$ 의 금속 두께를 가지고 있는 DAML구조의 신호선 폭의 변화에 의한 파장과 특성 임피던스의 변화  
Fig. 2. Characteristics impedance and wavelength by a change of the width of the DAMLs with the 10  $\mu\text{m}$  height and 7  $\mu\text{m}$  metal thickness at 60 GHz.

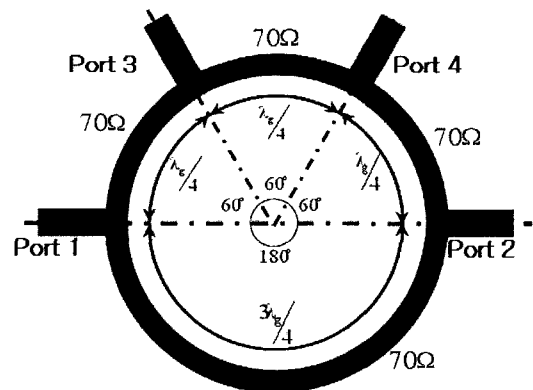


그림 3. 링 하이브리드 결합기 구조의 설계  
Fig. 3. Design of hybrid ring coupler.

선을 지지대의 높이 변화에 따른 DAML의 EM 시뮬레이션의 결과로부터 신호선의 높이가 감소할수록 신호선과 접지면의 커패시턴스 효과 때문에 낮은 임피던스와 높은 유효 유전율 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

그림 2는 60 GHz에서 신호선의 높이가 10  $\mu\text{m}$ 이고 금속의 두께가 5  $\mu\text{m}$ 일 때 신호선의 폭에 따른 특성 임피던스와 파장에 대한 시뮬레이션의 결과를 보여 주고 있다. 밀리미터파 대역에서 응용하기 위한 링 하이브리드

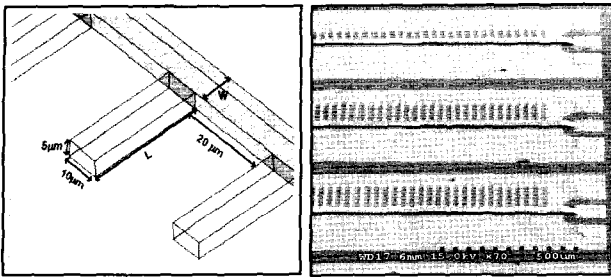


그림 4. Slow wave 구조가 삽입된 DAML 구조의 차원  
 Fig. 4. The dimensions of the DAMLs inserted the slow wave structure.

결합기 구조는 그림 2에서 보여준 시뮬레이션 결과를 이용하여 설계하였다. 하이브리드 링 결합기의 설계를 위해서 사용된 전송선의 폭이 25 μm와 높이가 10 μm일 때 특성 임피던스가 70 Ω 이고 파장은 4.95 mm을 얻었다. 위의 결과를 이용하여 그림 3에서 보여주는 것처럼 포트2와 포트3 사이의 위상차가 180° 가되는 3 dB 하이브리드 링 결합기를 설계하였다. 하이브리드 링 결합기를 다른 능동소자와 함께 구현하기 위하여서는 소형화가 필수적이다. 이러한 목적으로 우리는 PBG (Photonic Band Gap) 구조를 이용한 저역 통과 필터를 제작하였다<sup>[5]</sup>. PBG 구조를 이용한 저역 통과 필터는 PBG 구조를 이용하지 않은 저역 통과 필터와 비교해서 약 24% 이상의 크기를 줄일 수 있다는 것을 확인 하였다. 그러나 PBG 구조를 이용하여 링 하이브리드 결합기를 제작하기는 매우 어렵다. 그러므로 결합기의 크기를 줄이기 위하여 결합기 내부에 slow wave 구조를 삽입하여 제작하였다.

신호선의 모양에 따라서 접합이나 곡선의 구조를 쉽게 형성하기 위하여 그림 4 에서 보여주는 것처럼 한쪽 면에만 slow wave 구조를 형성 하였다. 한쪽 면에만 형성된 stub의 간격과 폭은 각각 20 μm와 10 μm이다. 그림 5는 실험적인 결과로부터 신호선의 폭과 stub의 길이에 따른 특성 임피던스와 slow wave factor의 변화를 보여 주고 있다. 신호선의 폭이 20 μm이고 stub의 길이가 70 μm 일 때 대략 70 Ω의 특성 임피던스를 얻을 수 있었다. 또한 신호선의 폭이 20 μm이고 stub의 길이가 70 μm 일 때 slow wave factor는 1.66이고 크기를 약 33% 정도 감소시킬 수 있었다. 위의 결과를 이용하여 포트 2와 포트3 사이의 위상차가 180°인 slow wave 구조가 삽입된 3 dB 링 하이브리드 결합기를 설계 하였다. 이 때 slow wave 구조가 삽입된 3 dB 링 하이브리드 결합기의 외경은 1.9 mm이다.

이러한 방법으로 설계된 소자는 680 μm 두께의 GaAs

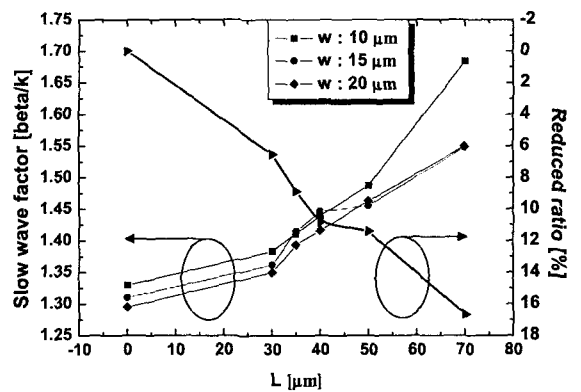
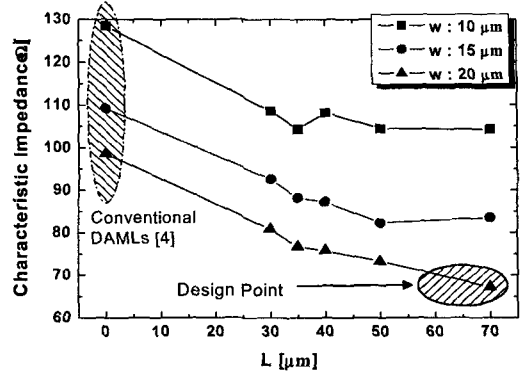


그림 5. Slow wave 구조를 위한 실험적 결과; 선폭 = 10, 15, 20 μm, 스템브의 길이 = 0~70 μm)

Fig. 5. The experimental result for slow wave structures (Line width= 10, 15, 20 μm, stub length = 0~70 μm).

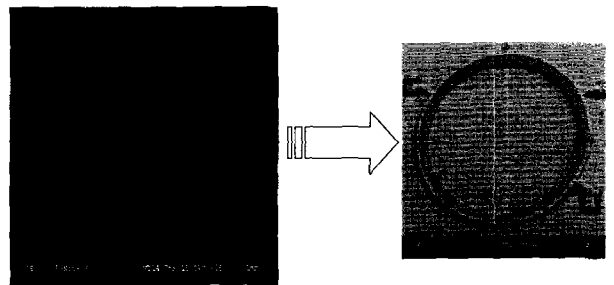


그림 6. 제작된 링 하이브리드 결합기의 SEM 사진  
 Fig. 6. SEM photography of the fabricated hybrid ring coupler without slow wave structure and with slow wave structure.

기판위에 electroplating, polyimide deposition, 패터닝 과정을 거쳐서 소자를 제작 하였다. 제작된 링 하이브리드 결합기의 SEM 사진은 그림 6에서 보여주고 있다.

### III. 측정 결과와 논의

제작된 링 하이브리드 결합기는 HP8510C vector network analyzer를 사용하여 30 GHz부터 75 GHz까지

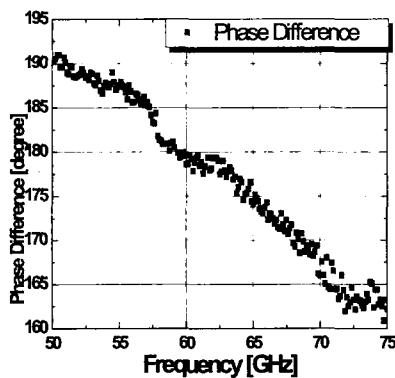
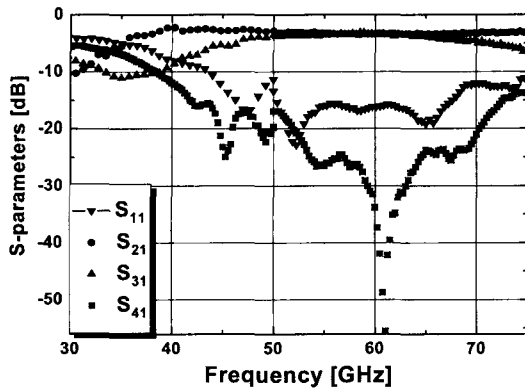


그림 7. slow wave 구조를 삽입 하지 않은 링 하이브리드 결합기의 측정 결과  
 Fig. 7. Measurements results of hybrid ring coupler without slow wave structure.

의 주파수 범위에서 on-wafer 측정하여 결합기의 산란 계수 (S-parameter)를 얻었다. 측정방법은 GSG (ground-signal-ground) 형태의 probe 끝단을 기준으로 GGB사에서 제공하는 calibration substrate의 SOLT(Short-Open-Load-Thru) 절차로 수행하였다. 측정 주파수 전 대역에서 reflection은 -40 dB 이하, transmission은  $\pm 0.2$  dB 이내,  $0.2^\circ$  이내의 오차로 보정된다. 그림 7은 링 하이브리드 결합기의 측정값과 시뮬레이션 결과를 비교한 그래프이다. 60 GHz 중심 주파수에서 3.58 dB의 커플링( $S_{31}$ ), 3.31 dB의 Thru 신호 ( $S_{21}$ )을 얻었으며, 61 GHz 중심 주파수 16.17 dB의 반사손실 ( $S_{11}$ )과 55 dB의 격리도( $S_{41}$ )를 얻었다. 또한 그림 7에서 보여주는 것처럼 포트 2와 포트 3 사이의 위상차는 60 GHz에서  $180 \pm 1^\circ$  값을 얻었다.

그림 8은 크기를 줄이기 위하여 slow wave 구조를 삽입하여 제작된 링 하이브리드 결합기의 측정 결과를 보여 주고 있다. 대략 58~60 GHz 중심 주파수에서 3.64 dB의 커플링, 3.38 dB의 Thru 신호와 중심 주파수 58 GHz에서 20 dB의 반사계수와 30 dB 이상의 격리도를 얻

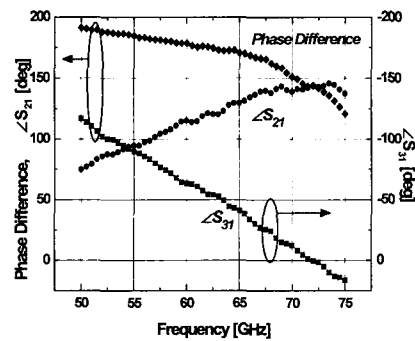
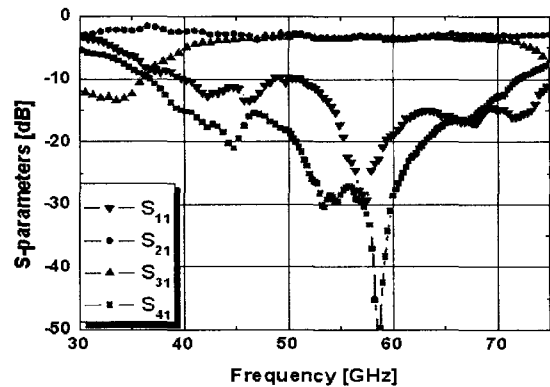


그림 8. slow wave 구조를 삽입한 링 하이브리드 결합기의 측정 결과  
 Fig. 8. Measurements results of hybrid ring coupler with slow wave structure.

을 수 있었다. 또한 포트 2와 포트 3 사이의 위상차는 58 GHz에서  $180 \pm 2^\circ$ 를 얻었다.

위의 실험적인 결과에서 보여 주듯이 slow wave 구조를 삽입하므로 결합기의 성능의 저하 없이 대략 33% 정도 크기를 감소할 수 있는 효과를 얻었다.

#### IV. 결 론

새롭게 제안된 전송선로인 DAML 구조를 이용하여 밀리미터 대역에서 여러 가지 수동 소자의 제작 가능성을 증명하기 위하여 하이브리드 링 결합기를 설계 제작 하였다. DAMLs를 이용하여 제작 된 결합기의 특성은 60 GHz 중심 주파수에서 3.58 dB의 커플링( $S_{31}$ ), 3.31 dB의 Thru 신호 ( $S_{21}$ )을 얻었으며, 61 GHz 중심 주파수 16.17 dB의 반사 손실 ( $S_{11}$ )과 55 dB의 격리도( $S_{41}$ )를 얻었다. 또한 포트 2와 포트 3 사이의 위상차는 60 GHz에서  $180 \pm 1^\circ$  값을 얻었다.

결합기의 크기를 줄이기 위하여 slow wave 구조가 삽입된 결합기를 설계 제작 측정 하였다. 측정된 결합기의 특성은 대략 58~60 GHz 중심 주파수에서 3.64 dB

의 커플링, 3.38 dB의 Thru 신호와 중심 주파수 58 GHz에서 20 dB의 반사계수와 30 dB 이상의 격리도를 얻을 수 있었다. 또한 포트 2와 포트 3 사이의 위상차는 58 GHz에서  $180 \pm 2$ 를 얻었다. 우리는 slow wave 구조를 삽입 하여서 크기를 33% 감소시킬 수 있는 효과를 얻었다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. C. Park, Y. S. Choi, B. I. Kim, J. B. Yoon, and E. S. Yoon, "A Low Loss MEMS Transmission Line with Shielded Ground," IEEE The Sixteenth Annual International Conference on Micro Electron Mechanical Systems, MEMS-03 Kyoto, pp 136-139, Jan. 19-23, 2003.
- [2] L. Katehi, G. Rebeiz, T. Weller, R. Drayton, H-J Cheng, and J. Whitaker, "Micromachined Circuits for Millimeter- and Sub-millimeter-wave Applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 35, no. 5, pp 9-17, October 1993.
- [3] H. Kamitsuna, "A Very Small, Low-Loss MMIC Rat-Race Hybrid Using Elevated Coplanar Waveguides", IEEE Microwave and guided wave letters, vol. 2, no. 8, pp337-339, 1992.
- [4] V. Milanovic, M. Gaitan, E. D. Brown, and M. E. Zaghloul, "Micromachined microwave transmission lines in CMOS technology," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 45, pp 630-635, 1997.
- [5] 이한신, 김성찬, 임병욱, 백태중, 신동훈, 전영훈, 김순구, 박현창, 이진구, "MEMS 기술을 기반으로 한 저손실 전송선로와 LPF의 공정에 관한 연구", 한국 전자파 학회 논문지, pp 1292-1299, 2003년 12월.

## 저 자 소 개



고 백 석(학생회원)  
2003년 2월 동국대학교 전자전기  
공학부(공학사)  
2003년 3월~현재 동국대학교  
대학원 전자공학과  
석사과정.  
<주관심분야 : 밀리미터파 소자  
및 회로 설계 제작>



백 태 중(학생회원)  
2003년 2월 중부대학교 정보통신  
공학과(공학사)  
2003년 3월~현재 동국대학교  
대학원 전자공학과  
석사과정.  
<주관심분야 밀리미터파 소자  
및 회로 설계 제작>



임 병 옥(학생회원)  
2000년 2월 국립 한경대학교  
전자공학과(공학사).  
2002년 3월 동국대학교  
전자공학과(공학석사).  
2002년 3월~현재 동국대학교  
대학원 전자공학과  
박사과정.

<주관심분야 밀리미터파 대역용 MIMIC 부품 설  
계 및 제작>



김 성 찬(학생회원)  
1999년 2월 동국대학교  
전자공학과(공학사)  
2001년 2월 동국대학교  
전자공학과(공학석사).  
2001년 3월~현재 동국대학교  
대학원 전자공학과  
박사과정.

<주관심분야 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



신 동 훈(정회원)  
1982년 2월 동국대학교  
물리학과(이학사).  
1984년 2월 동국대학교  
물리학과 (이학석사).  
1999년 런던대학교 전기전자  
공학과(공학 박사)

1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술  
연구센터 연구교수.



이 진 구(정회원)  
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 전자과학회 이사.  
2002년~2004년 대한전자공학회 부회장  
2005년 현재 대한전자공학회 회장.  
1985년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과  
교수.  
1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장.