

논문 2012-49TC-4-7

200 GHz 대역 프로브 구조의 구형도파관-마이크로스트립 변환기 설계

(Design of 200 GHz Waveguide to Microstrip Transition using Probe Structure)

이 상 진*, 백 태 종*, 고 동 식*, 한 민*, 최 석 규*, 김 정 일**, 김 근 주**,
전 석 기**, 윤 진 섭***, 이 진 구****

(Sang-Jin Lee, Tae-Jong Baek, Dong-Sik Ko, Min Han, Seok-Gyu Choi, Jung-Il Kim,
Geun-Ju Kim, Seok-Gy Jeon, Jin-Seob Yoon, and Jin-Koo Rhee)

요 약

본 논문에서는 200 GHz 대역의 시스템에 응용이 가능한 구형도파관 전송선로와 평면 구조인 마이크로스트립 전송선로 구조의 부품들의 상호 신호전달을 위해 프로브 구조의 변환기를 설계하였다. 설계된 변환기는 프로브, 임피던스 변화를 위한 테이퍼구조와 마이크로스트립 구조의 전송선로로 구성된다. Ansoft사의 HFSS 시뮬레이션 툴을 이용하여 프로브의 크기 및 테이퍼의 길이를 변경하여 주파수 특성 변화를 확인하였으며 최적화하였다. 변환기는 특성 검증을 위해 back-to-back 구조로 설계되었으며, 시뮬레이션 결과 186 GHz ~ 210 GHz의 대역폭을 갖으며 전 대역에서 -0.81 dB 이하의 삽입손실과 -10 dB 이상의 반사손실을 확인하였다.

Abstract

We have designed the waveguide to microstrip transition using a probe structure for the center frequency of 200 GHz transceiver. The waveguide to microstrip transition is composed of probe, taper and microstrip transmission line. For design of the transition, we simulated the lengths and width of the probe and the taper to optimize the center frequency and the bandwidth using HFSS simulation tool from Ansoft. The transition is designed back-to-back structure. From the simulation results, the transition exhibits that insertion loss is below -0.81 dB and the return loss less than -10 dB in range of 186 ~ 210 GHz.

Keywords : 200 GHz, 구형 도파관 변환기, 프로브 구조

* 학생회원, **** 평생회원-교신저자, 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터

(Millimeter-wave INnovation Technology research center, Dongguk University)

** 정회원, 한국전기연구원

(Korea Electrotechnology Research Institute)

*** 정회원, 서울대학교 컴퓨터전자과

(Department of computer aided system, Seoul College)

※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 (MINT)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

접수일자: 2011년12월22일, 수정완료일: 2012년4월17일

I. 서 론

최근 의료, 군사, 보안 등의 목적으로 레이더 및 센서의 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 레이더 및 센서의 경우 높은 해상도를 위해 파장이 짧은 밀리미터파 대역의 연구가 요구되어진다. 200 GHz 대역은 기존에는 연구가 미흡했지만 최근 높은 주파수의 능, 수동 소자가 개발되어짐에 따라 현재 선행연구가 진행 중이다.

일반적으로 밀리미터파 대역의 시스템은 평면형 회

로 구조인 MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuits) 및 MIC (Microwave Integrated Circuits) 형태로 제작되거나 시스템 외부의 신호 전달은 구형도파관을 이용하여 공기중으로 신호를 송, 수신하게 된다. 따라서 평면형 구조와 구형도파관 구조의 상호 신호전달을 위한 변환기의 개발이 필수적이다.

반적으로 구형도파관-평면구조 변환기는 입, 출력 단자가 수직인 프로브 구조^[1]나 평행한 antipodal fin-line 및 slot-line 구조^[2-4]를 이용한다. 이러한 구조들은 시스템의 구조에 따라 선택되어 사용되어진다.

구형 도파관-평면구조의 변환기는 상호 변환시 손실을 최소화하기 위해 작은 삽입손실과 큰 반사손실, 그리고 광대역 특성을 가져야한다. 또한, 임피던스 정합부분을 테이퍼형태로 설계하여 임피던스의 변화가 급격해지지 않도록 해야 한다.

본 논문에서는, 도파관 구조와 평면형 회로가 수직으로 구성되는 200 GHz 시스템에 적용하기 위해 구조가

비교적 간단하여 공정 오차를 줄일 수 있는 프로브 구조를 이용하여 설계하였다.

II. 구형도파관-마이크로스트립 변환기의 설계

1. 프로브 구조의 변환기 구조

그림 1은 프로브 구조의 변환기의 기관 형상을 보여준다. 구형도파관-마이크로스트립 변환기는 프로브, 테이퍼, 그리고 마이크로스트립 전송선로로 구성된다.

변환기 기관에서의 설계 변수는 프로브의 길이 (l_p), 프로브의 너비 (w_p) 그리고 테이퍼의 길이 (l_t)이다. 이 세 가지 파라미터가 변환기의 주파수 특성을 결정한다. 프로브의 크기에 의해 변환되는 주파수를 결정하며, 테이퍼는 프로브의 임피던스와 마이크로스트립 전송선로의 임피던스를 급격하게 변화되어 손실이 증가하는 것을 방지한다. 또한, 유전체 손실을 최소화하기 위해 2.2의 유전율을 갖는 125 μm 두께 (t_s)의 기관은 로저스 사

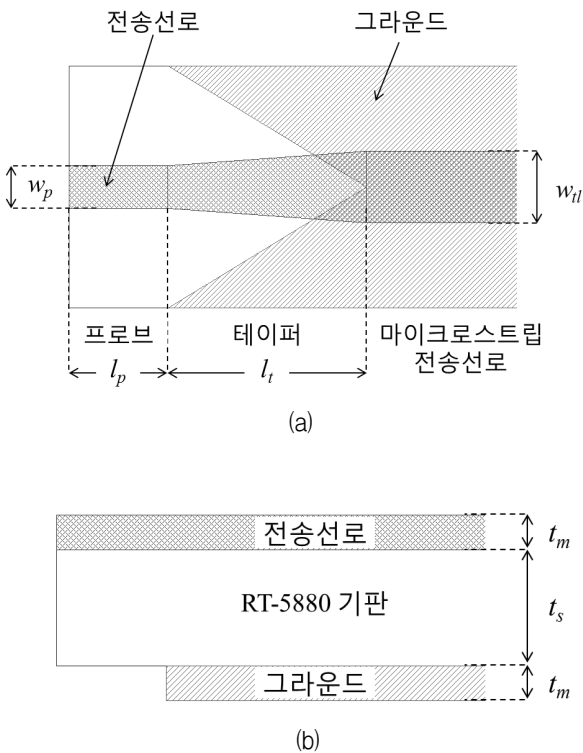


그림 1. 프로브 구조의 도파관-마이크로스트립 변환을 위한 기관 구조 (a) 윗면도, (b) 측면도
 Fig. 1. Structure of substrate for probe type waveguide to microstrip transition. (a) top view, (b) side view.

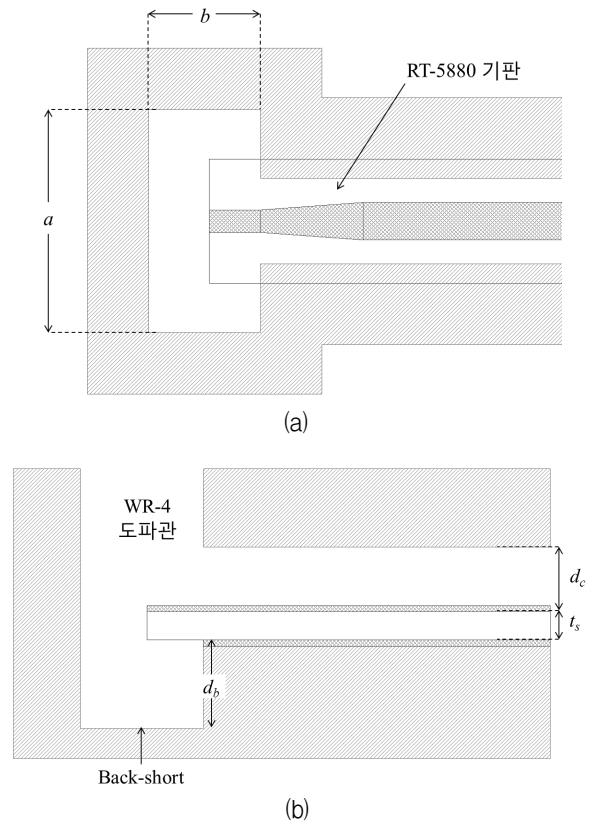


그림 2. 프로브 구조의 도파관-마이크로스트립 변환기 구조 (a) 윗면도, (b) 측면도
 Fig. 2. Structure of probe type waveguide to microstrip transition. (a) top view, (b) side view.

의 RT-5880 모델을 사용하였으며, 화학약품을 사용하는 식각 공정 (wet-etching) 시 생기는 오차를 최소화하기 위해 가장 얇은 금속 두께인 8 μm 를 사용하였다.

프로브와 마이크로스트립 전송선로 사이의 임피던스 정합을 위한 테이퍼의 그라운드 패턴은 straight 라인, half-cosine 곡선, exponential 곡선을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 3가지 패턴 모두 동일한 결과를 얻어 공정 후의 패턴의 정확도를 위해 가장 단순한 구조인 straight 라인을 사용하였다.

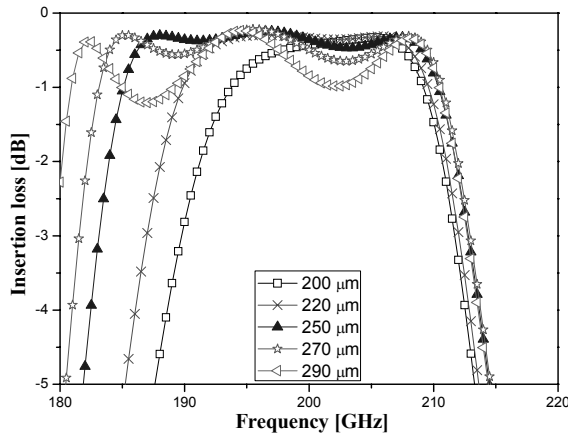
그림 2에서 구형 도파관은 200 GHz 대역의 신호가 전송되는 WR-4 규격을 사용함을 알 수 있다. 또한 도파관 내에서 신호가 후방으로 방사되지 않도록 200 GHz의 $\lambda/4$ 에 해당하는 높이 (d_b)를 갖는 back-short를

사용하였다. Back-short는 신호가 입력단자의 반대방향으로 방사되어 손실이 증가하는 것을 억제하기 위해 사용된다.

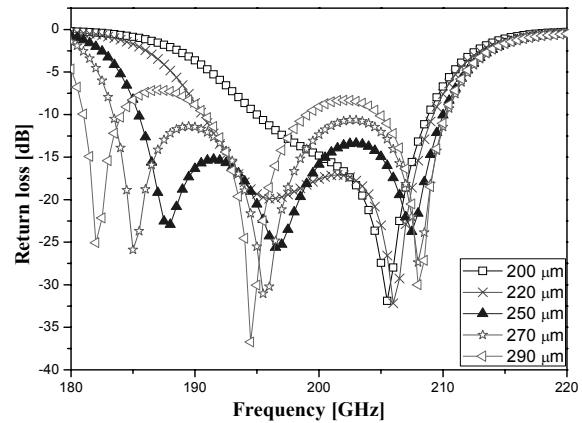
2. 변환기의 최적화 시뮬레이션

설계된 구형도파관-마이크로스트립 변환기는 HFSS 시뮬레이터를 이용하여 최적화 하였다. 프로브의 길이 (l_p)와 너비 (w_p), 그리고 테이퍼의 길이 (l_t)를 조절하여 중심 주파수 및 대역폭을 최적화 하였다.

그림 3은 프로브의 길이 (l_p)를 200 μm ~290 μm 로 가변 하여 시뮬레이션 한 결과이다. 프로브의 길이가 길어짐에 따라 대역폭은 넓어지지만 삽입손실이 증가하고 반사손실이 감소하는 결과를 얻었다. 시뮬레이션 결

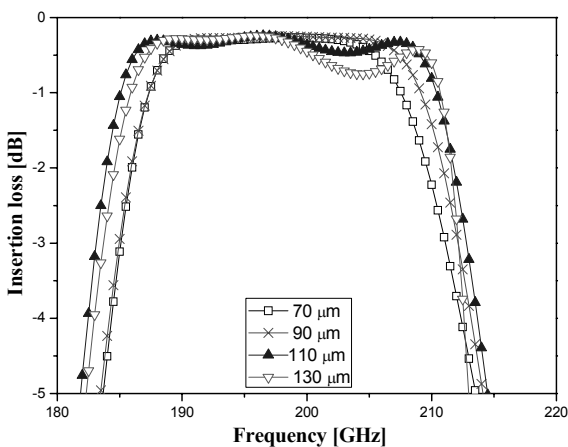


(a)

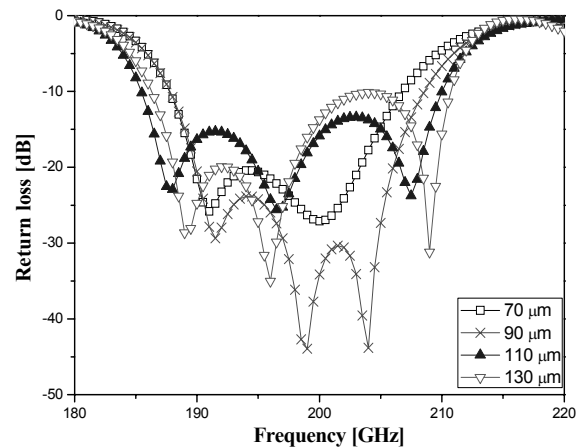


(b)

그림 3. 프로브 길이 변화에 따른 변환기의 시뮬레이션 결과 (a) 삽입손실, (b) 반사손실
Fig. 3. Simulation results of transition versus length of probe. (a) insertion loss, (b) return loss.

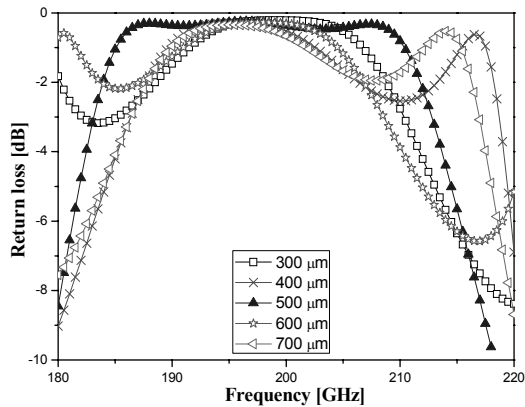


(a)

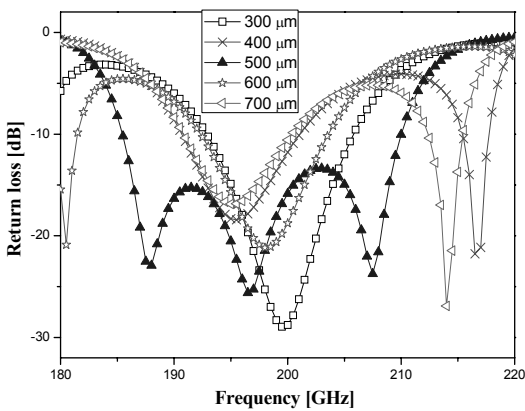


(b)

그림 4. 프로브 너비 변화에 따른 변환기의 시뮬레이션 결과 (a) 삽입손실, (b) 반사손실
Fig. 4. Simulation results of transition versus width of probe. (a) insertion loss, (b) return loss.



(a)



(b)

그림 5. 테이퍼 길이 (l_t) 변화에 따른 변환기의 시뮬레이션 결과 (a) 삽입손실, (b) 반사손실

Fig. 5. Simulation results of transition versus length of taper (l_t). (a) insertion loss, (b) return loss.

과 프로브의 길이가 250 μm일 때 가장 넓은 대역에서 삽입손실 및 반사손실 특성이 우수함을 볼 수 있다.

그림 4는 프로브의 너비 (w_p)를 70 μm~130 μm로 가변 하여 시뮬레이션 한 결과이다. 이때 프로브의 너비가 110 μm일 때 우수한 특성을 얻었다.

그림 5는 테이퍼의 길이 (l_t)를 300 μm~700 μm로 가변 하여 시뮬레이션 한 결과이다. 이때 테이퍼의 길이가 500 μm일 때 광대역 특성을 얻었다.

III. 설계된 구형도파관-마이크로스트립 변환기의 시뮬레이션 결과

그림 6은 설계된 프로브 구조의 구형도파관-마이크로스트립 변환기의 HFSS 설계도면이다. 변환기는 시뮬레이션을 위해 back-to-back로 연결되어 입, 출력 단자

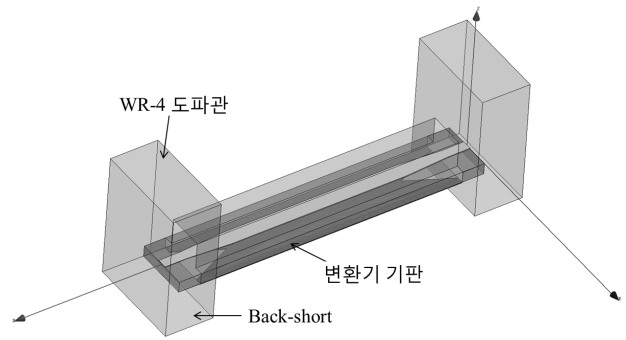


그림 6. 설계된 변환기의 3차원 설계도
Fig. 6. 3-D layout of designed transition.

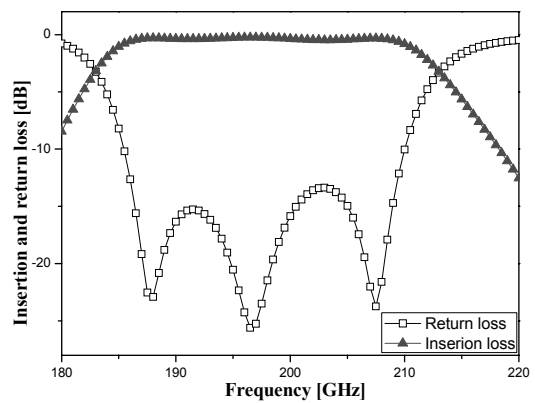


그림 7. 최적화로 설계된 변환기의 시뮬레이션 결과
Fig. 7. Simulation results of designed transition.

표 1. 설계된 프로브 구조의 구형도파관-마이크로스트립 변환기의 파라미터 값

Table 1. Parameters of the designed probe type waveguide to microstrip transition.

유전율 (ϵ_r)		2.2
기판 두께 (t_s)		125 μm
금속 두께 (t_m)		8 μm
도파관 규격 (WR-4)	a	1.092 mm
	b	0.546 mm
프로브	길이 (l_p)	250 μm
	너비 (w_p)	110 μm
테이퍼	길이 (l_t)	500 μm
마이크로스트립 전송선로	너비 (w_u)	180 μm
Cavity (d_c)		300 μm
Back-short (d_b)		375 μm

모두 WR-4규격으로 설계되었다.

그림 7은 최적화로 설계된 변환기의 최종 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과 186 ~ 210 GHz 대역에서 -0.81 dB 이하의 삽입손실과 -10 dB 이상의 반사손실을 갖는다.

표 1은 변환기의 설계를 위해 사용된 기판 정보 및

도파관 규격과, 설계된 변환기의 파라미터 값을 보여 준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 200 GHz 대역의 송, 수신 시스템을 위해 프로브 구조를 이용한 구형도파관-마이크로스트립 변환기를 설계하였다. 200 GHz 대역의 짧은 파장에 의해 공정 오차를 최소화하도록 비교적 간단한 구조인 프로브를 사용하였다. 또한 유전체 손실을 최소화하기 위해 125 μm 두께의 얇은 기판을 사용하였으며, 화학 약품을 사용하는 식각 공정에서의 오차를 최소화하기 위해 8 μm 의 얇은 금속을 선택하였다.

변환기의 저 손실 및 광대역 특성을 목표로 설계되었으며, 프로브와 테이퍼의 길이 및 너비를 조절하여 주파수 특성을 최적화 하였다.

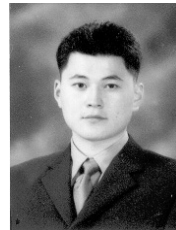
설계된 변환기는 back-to-back 구조로 시뮬레이션 하였을 때 186 ~ 210 GHz 범위에서 -0.81 dB 이하의 삽입손실과 -10 dB 이상의 반사손실을 갖는다. 이 결과를 바탕으로, 한 개의 구형도파관-마이크로스트립 변환기는 -0.405 dB의 변환손실을 갖는다. 따라서 설계된 변환기는 200 GHz 대역의 시스템에 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Yi Chi Shih, Thuy Nhung Ton, and Long Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 473-475, 1988.
- [2] Du-Hyun Ko, Ju-Young Moon, Dan An, Mun-Kyo Lee, Sang-Jin Lee, Jin-Man Jin, Yeon-Sik Chae, Sang-Won Yun, Sam-Dong Kim, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "V-b and Waveguide-to-Coplanar Waveguide Transition for 60 GHz Wireless LAN application," *34th European Microwave Conf.*, pp. 641-644, 2004.
- [3] 이상진, 안단, 이문교, 고두현, 진진만, 김성찬, 김삼동, 박현창, 박형무, 이진구, "MMIC 모듈을 이용한 V-band 무선 송수신 시스템의 구축," *대한전자공학회 추계 학술대회*, 제28권, 제2호, 575-578 쪽, 2005년.
- [4] 문성운, 이문교, 오정훈, 고동식, 황인석, 이진구, 김삼동, "평면형 Fin-line 테이퍼를 이용한 사파이

어 기반의 94 GHz CPW-구형 도파관 변환기," *대한전자공학회논문지-TC*, 제45권, 제10호, 65-70쪽, 2008년.

저 자 소 개



이 상 진(학생회원)
2003년 중부대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
2005년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.
2012년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : MMIC 설계, 패키지, 통신 및 레이더 시스템>



백 태 중(학생회원)
2003년 중부대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
2005년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.
2011년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : RF MEMS 설계 제작, E-Beam Lithography, MMIC 공정>



고 동 식(학생회원)
2007년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
2009년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.
2011년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 밀리미터파 도파관 VCO 및 패키지>



한 민(학생회원)
2003년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
2006년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업..
2012년 동국대학교 전자공학과 공학박사

<주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작, Schottky diode 개발>

저 자 소 개



최 석 규(학생회원)
 2004년 한경대학교 전자공학과
 학사 졸업
 2006년 동국대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2005년~현재 동국대학교
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : GaAs and InP Gunn diode 개발,
 Varactor diode 개발>



김 정 일(정회원)
 2000년 서울시립대학교 물리학과
 학사 졸업.
 2002년 서울대학교 물리학부
 석사 졸업.
 2006년 서울대학교 물리학부
 박사 졸업.

2006년 7월~현재 한국전기연구원 선임연구원
 <주관심분야 : 고출력 밀리미터파 소자, 테라헤르
 츠파 소자 및 응용 시스템>



김 근 주(정회원)
 2001년 2월 한국해양대학교 전기
 공학과 학사 졸업.
 2003년 2월 한국해양대학교 전기
 공학과 석사 졸업.
 2009년 8월 한국전기연구원 전문
 연구원

2009년 8월 ~ 현재: 한국전기연구원 선임연구원
 <주관심분야 : 펄스형 THz파 분광/영상, 연속형
 THz파 실시간 영상>



이 진 구(평생회원)
 1969년 국립항공대학교 전자
 공학과 졸업(공학사),
 1975년 서울대학교 전자공학과
 석사과정(공학석사),
 1982년 Oregon State Univ.
 전기공학과 (공학박사),

1985년 Cray Research Scientist,
 1985년 Microwave Semiconductors, USA,
 Senior Engineer,
 1995년~현재 한국 전자과학회 이사,
 1985년~2003년 대한전자공학회 부회장
 2004년~2005년 대한전자공학회 수석부회장
 2005년 대한전자공학회 회장
 1985년~현재 동국대학교 전자공학과 교수
 1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
 2009년~현재 동국대학교 전기전자공학부
 석좌교수

<주관심분야 : MMIC설계, 소자 모델링>



전 석 기(정회원)
 1998년 서울대학교 물리교육과
 학사 졸업.
 2001년 서울대학교 물리학부
 석사 졸업.
 2005년 서울대학교 물리학부
 박사 졸업.

2005년 1월~현재 한국전기연구원 선임연구원
 <주관심분야 : 밀리미터파/테라헤르츠파 소자 개
 발 및 응용>

윤 진 섭(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 38 권 SD 편 제 1호 참조