

AlN 기판의 수동 소자 특성

The Characteristic of Passive Elements on Aluminum Nitride Substrate

김 승 용 · 육 종 민* · 남 충 모

Seung-Yong Kim · Jong-Min Yook* · Choong-Mo Nam

요 약

본 논문에서는 열전도도가 우수한 AlN 기판에 CO₂ Laser 장비를 이용하여 Thru-hole과 scribing line을 형성하기 위해 CO₂ laser의 파라미터(초점 거리, 공기량, 레이저 빔 시간, 펄스 개수)를 실험하고, 자체 정렬 마스크 기법을 이용한 5 um 두께의 Cu 도금으로 AlN 기판에 전송 선로와 나선형 평면 인덕터를 제작하였다. AlN 기판에서의 마이크로스트립 라인의 전송 손실은 10 GHz에서 0.1 dB/mm, 6 nH 나선형 평면 인덕터는 1 GHz에서 56의 품질 계수를 얻었고, 이를 통해 열전도도가 우수한 AlN 기판의 고전력 RF 응용이 가능할 것으로 기대한다.

Abstract

In this paper, the key parameters of CO₂ laser(focus depth, air blow rate, total laser beam time, number of pulse) are experimented for thru-hole and scribing line on AlN(aluminum nitride) substrate with high thermal conductivity. And, microstrip line & spiral planar inductor are fabricated on AlN substrate using 5 um Cu-plating with self-masking technique. The microstrip line of AlN has 0.1 dB/mm attenuation at 10 GHz and 6 nH spiral planar inductor has 56 maximum quality factor at 1 GHz. Thus, the AlN substrate is promising for GHz applications of high power area.

Key words : AlN Substrate, Microstrip Line, Spiral Planar Inductor

I. 서 론

최근 반도체 소자의 소형화와 고집적화에 따라 전자 부품들이 작동하면서 단위 면적당 방출하는 열의 증가로 칩의 온도가 상승하여 회로의 신뢰도 및 수명을 크게 저하시키는 문제점이 생기게 된다. 따라서 회로에서 방출되는 열을 효율적으로 방출시켜 회로를 보호하기 위해 높은 열전도도를 갖는 기판 및 패키지를 사용해야 할 필요가 대두되었다. AlN (Aluminum Nitride)은 높은 열전도성, 높은 전기절연성, 낮은 유전 상수 및 유전 손실, 실리콘과 비슷한 열팽창계수 등과 같은 특성을 가지고 있어 반도체의 기판 재료나 반도체 레이저용 방열재 등과 같은 전

자 재료로서의 수요 증대가 크게 기대되고 있다^{[1]~[3]}. 종래의 기판용 재료는 알루미늄나(Al₂O₃)가 주류이 었지만, 알루미늄과 비교할 경우 AlN은 위에 기술한 특성 이외에도 경도가 낮아 가공성에 있어서 뛰어나 기 때문에 반도체용 재료로서 알루미늄과 경쟁할 가능성이 높아 차세대 기판 재료로서 기대가 크다.

본 논문에서는 기존의 세라믹 기판에 비해 열전도도가 우수한 AlN 기판을 사용하기 위해 연구하였다. 그림 1은 기존의 세라믹 구조의 RF 모듈의 개념을 나타낸 것이다. 기존 구조의 RF 모듈 구조는 세라믹 기판의 열전도도가 낮고, 세라믹 기판에 전송 선을 형성하여 MMIC와 와이어 본딩(wire bonding)을 통해 연결되는 세라믹 기판이 분리되는 복잡한

「이 연구는 2007학년도 중소기업청 산학협력실 지원사업 연구비로 연구되었음.」

한국산업기술대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University)

*한국과학기술원 광전자연구실(Opto-electronics Laboratory, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

· 논문 번호 : 20071130-23S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 1일

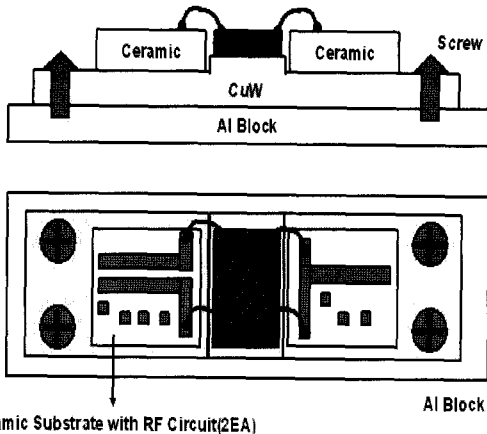


그림 1. 세라믹 기판을 이용한 RF 모듈
Fig. 1. RF module using ceramic substrate.

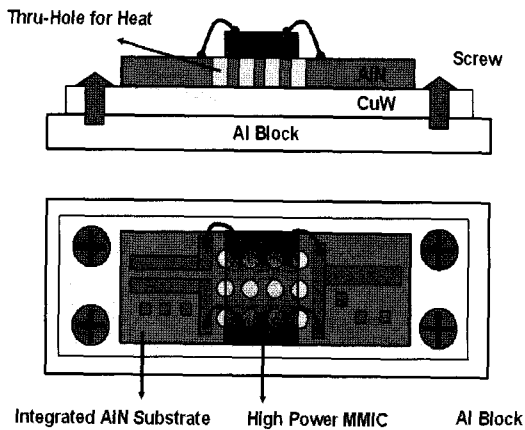


그림 2. 통합된 AlN 기판을 이용한 고전력 RF 모듈
Fig. 2. High power RF module using integrated AlN substrate.

구조로 되어 있다. 그림 2는 AlN 기판을 이용하여 MMIC에서 발생되는 열을 AlN 기판의 Thru-hole을 통해 하부 쪽으로 열 방출 시키고, 그림 1의 분리된 구조에서 분리되지 않는 통합형 구조의 모듈 방식의 개념도로 열전도도 특성이 우수한 AlN 기판에 Thru-hole과 50 Ω transmission line이 포함된 통합된 AlN 기판의 RF 모듈을 제안하였다.

Thru-hole은 도금된 금속에 의한 접지 하부 면과 전기적, 열적으로 연결되는 구조이며, 이러한 구조는 고전력 RF MMIC 패키지가 탑재 가능하여 AlN의 높은 열전도도를 활용하여 전력 소자의 신뢰성을 향상시키는 동시에 통합된 AlN 기판을 이용한 RF 모

듈의 일체형 집적화 활용이 가능할 것이다. 본 논문은 고전력 RF 모듈로서의 AlN 기판 사용 가능성을 검토하고자 AlN 기판의 RF 수동 소자의 집적 가능성을 검증하기 위해 AlN 기판에 전송선과 나선형 평면 인덕터를 반도체 공정을 이용한 Cu 도금으로 제작하여 성능 평가하였다.

II. CO₂ Laser 장비를 이용한 AlN 기판 가공

AlN 기판의 접지 하부 면과 전기적, 열적으로 연결되는 Thru-hole과 scribing line 가공을 위해서 100 W급 CO₂ laser 장비를 사용하였다. AlN 기판(가로×세로×두께=50.8 mm×50.8 mm×635 μm)의 Thru-hole을 가공하기 위해 laser beam을 제어하는 각 파라미터를 설정하였다. Laser의 초점 거리(Focus), laser beam이 조사되는 펄스 폭(pulse width), 펄스 주기(pulse period), Duty, 공기량(air blow rate), laser beam의 총 시간(total laser beam time), hole 당 laser beam 에너지(total energy per hole) 등의 파라미터를 설정하였다. TEH는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$TEH = \text{Laser beam power} \times NP \times PW \quad (1)$$

여기서 NP(Number of Pulse)는 식 (2)와 같이 TLT를 펄스 주기 PP로 나눈 것으로 hole 당 조사되는 pulse의 개수를 의미한다.

$$NP = \frac{TLT}{PP} \quad (2)$$

Thru-hole은 앞/뒷면 지름의 오차를 줄이기 위해 Duty의 조건 설정이 중요하다. Duty는 PW와 PP의 비로 식 (3)과 같다.

$$Duty = \frac{PW}{PP} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

그림 3과 같이 Duty 40 %에서 PP가 0.9 ms일 때, Thru-hole의 앞/뒷면의 오차가 가장 작은 결과를 얻었다.

이러한 각 파라미터를 설정하여 Thru-hole 가공은 앞면 100 μm, 뒷면 70 μm의 ±10 %의 오차를 공정 목표로 정하였다. 또한, AlN 기판을 절단하기 위한 scribing line은 scribing depth가 약 250 μm로 공정 목표를 정하였다. Laser에 의한 공정 목표를 완성하기 위해 파라미터를 설정하여 최적의 공정 표준 조건을

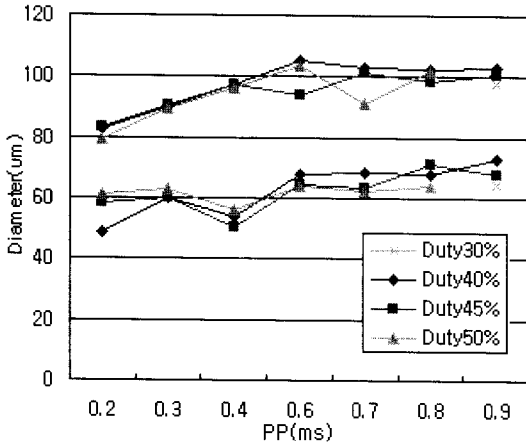


그림 3. PP와 Duty 변화에 따른 hole 앞/뒷면 지름
Fig. 3. Hole upper/lower diameter in PP and Duty changes.

표 1. AlN 기판 공정 조건

Table 1. The process conditions of AlN substrate.

Process	Parameter	
Laser hole process	Focus[mm]	3
	Air blow[l/min]	20
	TLT[ms]	300
	PP[ms]	0.9
	PW[ms]	0.36
	Duty[%]	40
Laser scribing line process	PP[ms]	0.6
	Duty[%]	20
	X-Y stage speed[mm/sec]	25

표 1과 같은 결과를 얻었다. 그림 4와 5는 실제 AlN 기판 laser 공정 표준 조건에 적용하여 가공된 Thru-hole과 scribing line의 단면 사진을 나타낸 것이다.

III. AlN 기판에서의 수동 소자 특성

3-1 Microstrip Line on AlN Substrate

AlN 기판에 microstrip line을 제작하여 특성을 알아보기 위해서 layout을 설계하였다. CO₂ Laser 장비를 이용하여 AlN 기판 laser 공정 표준 조건에 적용하여 Thru-hole을 형성하고, 박막공정(thin film process)을 위한 Cr mask를 제작하였다. 직경 100 um

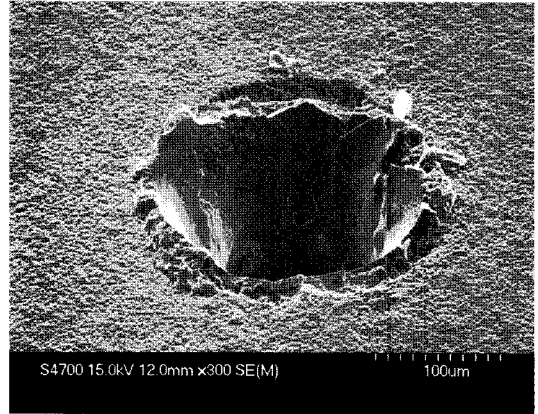


그림 4. AlN via hole의 SEM 사진
Fig. 4. SEM image of AlN via hole.

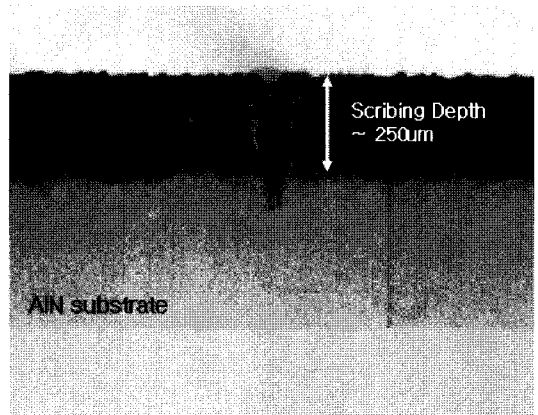


그림 5. AlN scribing line의 단면 사진
Fig. 5. Cross-sectional view of AlN scribing line.

의 Thru-hole에 Cu 도금을 위해 self-masking 기법을 도입하였고, 표 2의 박막공정을 통해 그림 6과 같이 AlN 기판위에 Cu 도금된 Microstrip line을 제작하였다.

표 2. 박막 공정 공정 조건

Table 2. The process conditions of thin film process.

Process	Parameter	
Thin film process	Backside sputtering metal thickness	Ti/Au= 0.2 um/0.2 um
	Front side sputtering metal thickness	Ti/Au= 0.2 um/0.2 um
	Electro-plating metal thickness	Cu/Ni/Au= 3 um/0.2 um/2 um

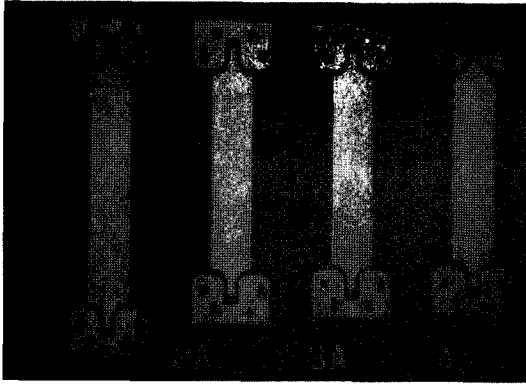


그림 6. AlN 기판에서 제작된 마이크로스트립 라인
Fig. 6. The fabricated microstrip line on AlN substrate.

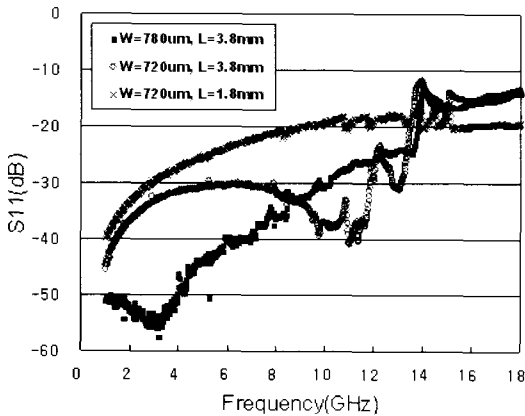


그림 7. 마이크로스트립 라인의 반사 손실
Fig. 7. Return loss of microstrip line.

AlN 기판에 제작된 Microstrip line은 유전율 10.4, metal 두께 5 um, 기판 두께 635 um의 구조를 갖는다. 제작된 microstrip line의 특성을 평가하기 위해 GSG RF probe를 통해 폭(width)과 길이(length)의 변화에 따른 전송 특성을 1~18 GHz 주파수 대역에서 측정하였다. 측정 결과 그림 7과 같이 선폭 720 um 및 길이 1.8 um의 경우 측정 주파수 영역에서 반사 손실이 약 -20 dB 이하로 양호한 결과를 얻었다. 전송 손실의 경우 그림 8과 같이 선폭이 720 um 및 780 um 모두 10 GHz 기준으로 약 0.1 dB/mm로 매우 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 AlN 기판의 높은 열전도도 특성을 활용한 RF 대역에서 충분히 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

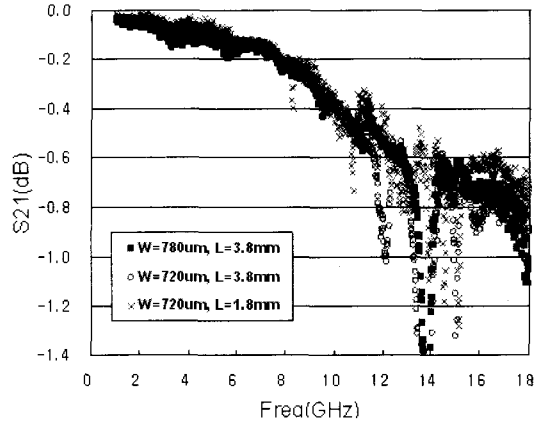


그림 8. 마이크로스트립 라인의 전송 손실
Fig. 8. Transmission loss of microstrip line.

3-2 Spiral Planar Inductor on AlN Substrate

그림 9는 AlN 기판에 와이어 본딩을 이용하여 제작된 W(금속선 폭) 200 um, S(금속선 간격) 50 um, D(내부 반경) 1050 um, metal 두께 5 um를 가지는 나선형 평면 인덕터를 제작한 것이다. 제작된 인덕터의 특성을 알아보기 위해 그림 10과 같이 0.1~5 GHz 주파수 대역에서 S-파라미터를 측정하였다. 인덕터의 품질 계수(quality factor)는 측정된 S-파라

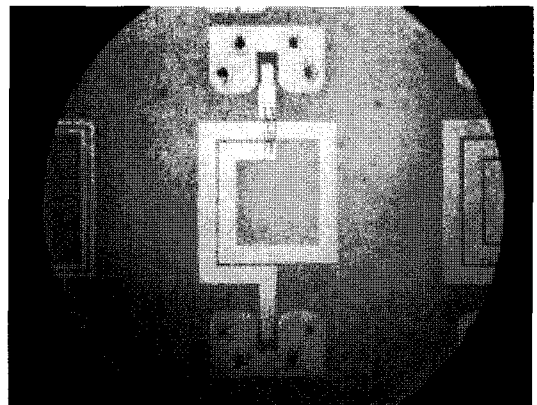


그림 9. AlN 기판에 제작된 6 nH 인덕터의 현미경 사진: W(금속선 폭)=200 um, S(금속선 간격)=50 um, D(내부 반경)=1,050 um, N(권선 수)=1.5

Fig. 9. Microphotograph of the fabricated 6 nH inductor on AlN substrate: W(Metal width)=200 um, S(metal spacing)=50 um, D(inner diameter)=1,050 um, N(number of turns)=1.5.

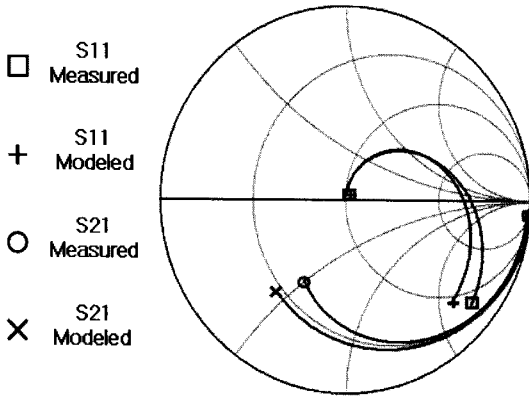


그림 10. AIN 기판의 나선형 평면 인덕터 모델과 측정된 S-파라미터(100 MHz~5 GHz의 주파수 범위에서 측정)

Fig. 10. The modeled and measured S-parameter of the spiral planar inductor on AIN substrate (measured frequency range are from 100 MHz to 5 GHz).

미터로부터 변환시킨 Y-파라미터의 입력 임피던스 값의 허수부와 실수부의 비로 식 (4)와 같이 나타내었다^[4].

$$Q = - \frac{Im[Y_{11}]}{Re[Y_{11}]} \quad (4)$$

그림 11은 AIN 기판에 제작된 6 nH 인덕터의 품

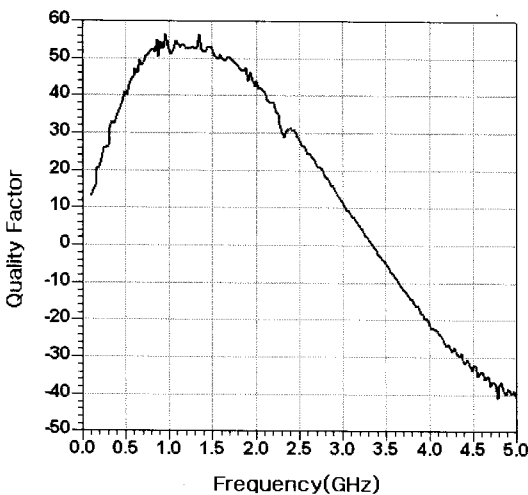


그림 11. 주파수에 따른 나선형 평면 인덕터의 품질 계수

Fig. 11. The quality factor of the spiral planar inductor according to frequency.

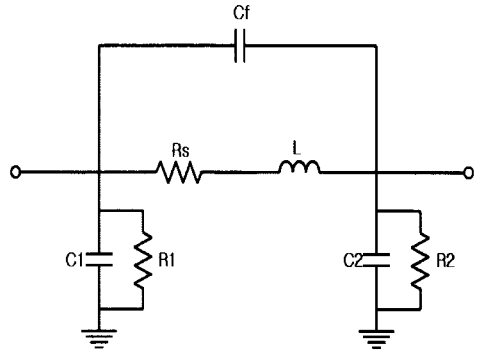


그림 12. AIN 기판의 나선형 평면 인덕터의 등가 회로

Fig. 12. Equivalent circuit of spiral planar inductor on AIN substrate.

표 3. 나선형 평면 인덕터의 등가 회로 파라미터
Table 3. Equivalent circuit parameters of spiral planar inductor.

L (nH)	6.03
R_s (Ω)	1.068
C_f (fF)	0.309
C_1 (fF)	402.19
C_2 (fF)	296
R_1 (k Ω)	5.92
R_2 (k Ω)	7.5

질 계수를 나타낸 측정값으로 1 GHz에서 최대 품질 계수가 56 정도이다. 측정된 S-파라미터로부터 나선형 평면 인덕터 등가회로를 그림 12와 같이 설계하고, advanced design system(ADS) tool을 이용하여 등가회로 파라미터 값을 표 3과 같이 추출하였다.

IV. 결 론

본 논문은 AIN 기판의 열전도도 특성을 활용하여 통합된 AIN 기판의 고전력 RF 모듈을 제안하고, AIN 기판에서의 수동 소자 RF 특성을 연구하였다. 먼저, 전송선을 형성하기 위해 CO₂ laser 장비를 이용하여 laser parameter에 따른 via hole 공정과 scribing line 공정 연구를 하였고, Cu 도금을 통해 5 um metal 두께를 가지는 microstrip line과 spiral planar inductor를 제작하였다. Microstrip line 측정 결과 10 GHz에서 0.1 dB/mm 낮은 전송 손실 특성으로 AIN

기판의 RF 대역 적용이 가능할 것으로 기대한다. 또한, AlN 기판에 제작된 인덕터의 특성 평가하였으며, 1 GHz에서 56의 최대 품질 계수 특성을 확인할 수 있다. 이를 통해 열전도도가 우수한 AlN 기판의 장점을 이용한 고전력 RF 모듈에서의 충분한 활용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] T. Ruemenapp, D. Peier, "Investigation of the ageing performance of AlN-ceramic used in high-power-semiconductors", *IEE Conf. Dielectric Materials*, no. 473, pp. 285-290, Sep. 2000.
 [2] F. Miyashiro, N. lwase, A Tsuge, F. Ueno, M. Na-

kahashi, and T. Takahashi, "High thermal conductivity aluminum nitride ceramic substrates and packages", *IEEE Trans. Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, vol. 13, issue 2, pp. 313-319, Jun. 1990.

[3] N. Karamitsos, A. A. P. Gibson, "Performance and analysis of an aluminium nitride isolation resistor", *IEE Proceedings. Microwave, Antennas and Propagation*, vol. 142, issue 3, pp. 282-284, Jun. 1995.
 [4] 정위신, 김승수, 박용국, 원광호, 신현철, "RF 집적회로를 위한 0.18 um CMOS 표준 디지털 공정 기반 인덕터 라이브러리", *한국전자과학회논문지*, 18(5), pp. 530-538, 2007년 5월.

김 승 용



2007년 2월: 한국산업기술대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 2월~현재: 한국산업기술대학교 정보통신학과 석사과정
 [주 관심분야] Microwave Devices, RF Power Amplifier

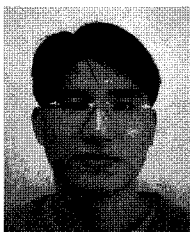
남 충 모



1992년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년: 한국과학기술원 반도체공학과 (공학석사)
 1998년: 한국과학기술원 반도체공학과 (공학박사)
 1998년~2000년: (주)하이닉스 메모리연구소 선임연구원

2000년~2002년: (주)텔레포스 책임연구원
 2003년~현재: 한국산업기술대학교 전자공학과 부교수
 [주 관심분야] RF Device, High Power Package

육 중 민



2003년: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
 2003년: 한국과학기술원 석사 입학
 2004년~현재: 한국과학기술원 석박사 통합 과정
 [주 관심분야] RF IPD(Integrated Passive Devices), IPD를 이용한 FEM

(Front End Module) Package