

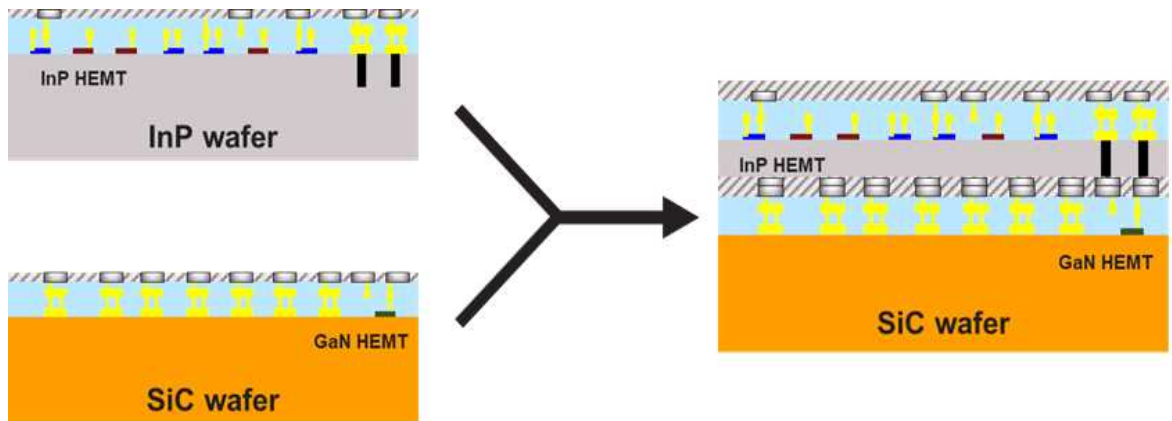
# 연구개발계획요구서(RFP)

과제명 : 초고주파 대역용 3D TIV 집적화 공정 및 적층형 InP/GaN 소자 기술 개발

## 1. 개요

### 가. 기술의 개념 및 정의

- 초고주파 시스템 수요에 대응하기 위해 InP에 기반한 초저잡음 및 GaN에 기반한 고출력 RF 소자 제작 기술을 개발한 뒤 Through-InP-Via (TIV) 집적화 연결 기술을 개발하여 3차원으로 적층된 InP/GaN 전자소자 구현 및 W-band급 저잡음 증폭기와 전력증폭기 개발을 목표로 함. (그림 1 참조)



(출처: IEDM)

그림 1. 3D TIV 기술에 기반한 적층형 InP/GaN 집적화 공정

- 화합물 반도체 소자는 그림 2와 같이 4차 산업혁명의 특징인 초연결성 구현을 위한 핵심부품으로 초고속, 고출력의 장점으로 5G 통신, 전력소자, 자동차 레이더, 우주, 방위산업, 산업용 센서 등 응용분야의 확대로 시장 수요 증가 및 산업적, 사회적 파급효과가 증대되고 있음.

- 고주파 무선통신은 고밀도와 저전력으로 양분될 것으로 예측되며, 고밀도를 필요로 하는 Power-Amplifier (PA)에는 GaN HEMT 기반 MMIC와 저전력과 고속 동작이 요구되는 Switch, Low-Noise-Amplifier (LNA) 등에는 InP HEMT 기반의 MMIC가 핵심적인 기술로 사용될 것으로 예측됨.

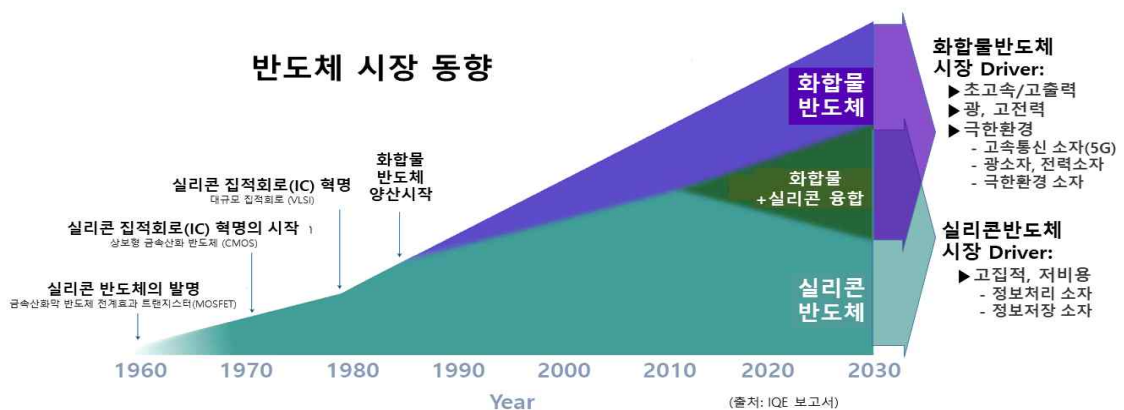


그림 2. 반도체 시장 동향

## 나. 기술의 중요성/필요성 및 시급성

### ○ 기술의 중요성/필요성

- GaN 과 InP 전자 소자에 대한 핵심 원천기술 개발을 바탕으로 5G 통신 인프라, 자동차 레이더, 우주, 방위산업, 산업용 센서 등의 국산화 및 관련기업의 경쟁력 증진과 국내 통신 산업의 생태계 조성에 기여함.
- 핵심 기술인 소자 직접화 및 각기 다른 기판을 직접화 하는 기술은 국내에서 전무한 상태이며, 고도의 공정기술을 필요로 하는 소재기술로 시급한 기술 개발이 요구됨.
- InP HEMT 및 GaN HEMT 화합물반도체 전자소자 기반의 RF 소자의 시장 특성은 고도의 기술 중심의 다품종·소량생산이 특징이므로 국내 기업의 상용화 및 시장진입을 위해서는 우수한 소자 특성 개발이 무엇보다 중요함.
- 한국형 전투기 (KF-X) 사업의 핵심기술 중 하나인 AESA 레이더는 주요 핵심부품인 송수신 모듈용 전력증폭기를 선진국으로부터

터 전량 수입에 의존하고 있으며, InP/GaN 소자 기술의 국산화 및 시험적용 평가를 위해서는 정부 주도의 민군개발 연구 사업을 통하여 국방소재 부품의 기술력 강화 및 관련 산업의 육성이 필요함.

o 기술개발의 시급성

- InP HEMT 및 GaN HEMT 화합물반도체 전자 소자는 차세대 5G 통신 뿐 아니라 자동차 레이더, 우주, 방위산업 등에 사용되고 있으나, 전량 수입에 의존하고 있으므로 핵심부품에 대한 기반기술 확보가 시급하며, 소자의 특성상 소자 간의 집적화 연결 기술이 핵심이며 이를 구현하기 위한 연결 기술 또한 핵심 기술로 4인치 이상의 대 구경 기판 위의 연결 기술 확보가 시급함.
- GaN 전력증폭기는 수출허가 (Export License; EL)가 필요한 품목으로 지정되어 고출력 소자의 수입에 제한을 받는 상태이며, 외국의 경우 각국 정부 주도하에 소재부터 시스템 개발까지 자체 연구추진 및 상용화를 진행하고 있다. 우리나라도 통신, 전투 로봇, 그리고 전투기 등 군사적 활용도가 매우 높기 때문에 정부 주도의 연구개발 투자가 요구됨.

다. 연구개발 최종 목표

o 민·군수용

항 목		목 표 성 능
InP HEMT	2-DEG 이동도	$\geq 15,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
	에피성장균일도(면저항편차)	$\leq 10 \%$
	온저항( $R_{\text{ON}}$ )	$\leq 250 \text{ }\Omega\text{-}\mu\text{m}$
	전달컨덕턴스( $g_{\text{m,max}}$ )	$\geq 3 \text{ mS}/\mu\text{m}$
	항복전압( $BV_{\text{DS}}$ )	$\geq 1.5 \text{ V}$
	전류이득차단주파수( $f_{\text{T}}$ )	$\geq 700 \text{ GHz}$
	최대공진주파수( $f_{\text{max}}$ )	$\geq 1000 \text{ GHz}$
	W-band 저잡음증폭기 잡음지수(NF) (LNA @ 94 GHz)	$\leq 3 \text{ dB}$
	W-band 저잡음증폭기 이득(Gain) (LNA @ 94 GHz)	$\geq 10 \text{ dB}$
GaN HEMT	2-DEG 이동도	$\geq 1,200 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
	에피성장균일도(면저항편차)	$\leq 10 \%$
	온저항( $R_{\text{ON}}$ )	$\leq 300 \text{ }\Omega\text{-}\mu\text{m}$
	전달컨덕턴스( $g_{\text{m,max}}$ )	$\geq 1 \text{ mS}/\mu\text{m}$
	항복전압( $BV_{\text{DS}}$ )	$\geq 10 \text{ V}$
	전류이득차단주파수( $f_{\text{T}}$ )	$\geq 300 \text{ GHz}$
	최대공진주파수( $f_{\text{max}}$ )	$\geq 350 \text{ GHz}$
	전력밀도( $P_{\text{density}}$ )	$\geq 2 \text{ W}/\text{mm}$
	W-band 전력증폭기 출력전력( $P_{\text{out}}$ ) (PA @ 94 GHz)	$\geq 1 \text{ W}$
3D TIV 집적화	TIV의 InP 두께	$\leq 10 \text{ }\mu\text{m}$
	연결저항	$\leq 0.01 \text{ }\Omega/\text{connection}$
	-3 dB 연결대역폭	$\geq 20 \text{ GHz}$
	연결지연시간	$\leq 5 \text{ psec}$

## 2. 국내외 기술현황 및 전망

### 가. 국내 기술동향 및 전망

- 국가적인 화합물반도체 기반 소자 및 회로 연구에 대한 지원은 아주 미미한 실정임.
- 상용화를 위해서는 4인치 이상의 성장기술이 필요하며, 내압 특성향상 및 짧은 채널 효과를 경감시킬 수 있는 기술에 대한 연구가 필요함.

### 나. 국외 기술동향 및 전망

- 대만
  - GaAs 파운드리 업체인 대만의 WIN semiconductor는 0.1~0.5  $\mu\text{m}$  pHEMT 공정을 제공하여 왔으며, 2014년도에는 0.25  $\mu\text{m}$  GaN HEMT MMIC 파운드리를 발표한 바 있음. 세계 최대 파운드리 업체인 대만의 TSMC도 2016년부터 GaN 전력소자 파운드리를 시작함.
- 미국
  - 무선통신 소자 제조의 leading company들은 주로 미국의 방위 산업을 기반으로 성장한 Raytheon, qorvo(RFMD+Triquint), HRL, Cree의 자회사인 Wolfspeed, Northrop Grumman사 등에서 GaAs 또는 GaN MMIC foundry 제공하고 있음. (그림 3 참조)

(출처: Northrop Grumman)

그림 3. Foundry service용 InP pHEMT, GaN HEMT 사양

Parameter/ Technology	1um power InP HBT	0.8 um digital InP HBT (2Met)	0.6 um digital InP HBT (4Met)	0.15 um GaAs PHEMT	0.1 um GaAs PHEMT	0.1 um InP PHEMT	0.2 um GaN HEMT
Ft (peak)	80 GHz	160 GHz	>250 GHz	80 GHz	120 GHz	180 GHz	60 GHz
Fmax (peak)	150 GHz	>200 GHz	>300 GHz	200 GHz	250 GHz	350 GHz	200 GHz
Beta/Gm	25	80	80	550 mS /mm	650 mS /mm	1200 mS /mm	350 mS / mm
Vce / Vds (Max)	7.5V	5V	4V	5V	4V	1.2V	28V
Current Density (Max)	0.7 mA / um <sup>2</sup>	1.5 mA / um <sup>2</sup>	2.5 mA / um <sup>2</sup>	250 mA / mm	250 mA / mm	150 mA / mm	250 mA / mm
Wafer Thickness	75 um	75 um	75 um	50 & 100 um	50 & 100 um	75 um	100 um
Airbridged Metal Available	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Backside Vias	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Diode Type	Schottky	Schottky	Schottky	Gate Source	Gate Source	Gate Source	NA
Wafer Size	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
Commercial	TBD	NOW	NOW	NOW	NOW	NOW	Q3 2015

○ 유럽

- 유럽의 경우 프랑스와 독일에 근거를 둔 UMS (United Monolithic Semiconductor)에서 0.1~0.25  $\mu\text{m}$  GaAs pHEMT와 0.25  $\mu\text{m}$  GaN MMIC foundry 제공하고 있음.
- 2005년부터 7개국 29개 업체가 참여한 KORRIGAN 프로그램을 통해 고출력증폭기 개발을 수행하였으며, 2010년부터 5개국 14개 업체가 참여한 MANGA 프로그램을 수행하여 SiC 기판, 에피기판, 그리고 MMIC를 생산할 수 있는 수준의 기술을 연구 개발함.

### 3. 연구개발계획

#### 가. 단계별 연구개발 목표

○ 민·군수용

구분	연구개발 목표	연구개발 내용	주요결과물
응용 연구 (3년)	에피소재 및 소자 기술 개발	① W-band급 저잡음/고출력 에피소재 및 소자 핵심·원천기술 개발	• W-band급 저잡음/고출력 에피소재 및 단위공정 개발
	에피 및 S/D 재성장 기술 개발	① 에피/집적화 및 S/D 재성장 핵심·원천기술 개발	• 구조 및 공정설계 보고서
	TIV 기술 개발 및 평가	① 3D 적층형 집적화 Through-InP-Via 형성 핵심·원천기술 개발 ② 3D 적층형 InP/GaN 소자간 연결특성 평가 ③ W-band 급 저잡음 InP 소자 개발 및 고출력 GaN 소자 개발	• 구조평가보고서 • W-band 급 저잡음/고출력 소자칩
시험 개발 (2년)	소자 신뢰성 평가 및 상용화 기술 연구	① 3D 적층형용 개별 InP 및 GaN RF 소자 신뢰성 검증 ② 3D 적층형용 RF 소자 성능개선 및 상용화 기술 연구	• 대구경(3인치 이상) • W-band급 저잡음/고출력 소자 개발
	상용화 수준 검증 및 추진	① RF소자 파운드리 펩을 이용한 상용화 수준 검증 ② 3D 적층형 TIV 및 InP/GaN 소자 및 상용화 추진 ③ W-band 급 InP LNA MMIC 및 GaN PA MMIC 개발	• 대구경(3인치 이상) 3D 적층형 TIV 연결기술 개발 • W-band급 LNA 및 PA MMIC 칩

※ 위 표는 응용/시험 단계에서 요구되는 연구내용의 예시이며 ,과제 신청시 본 문서의 [1-다.연구개발 최종 목표] 항목을 참고하여 최종 목표 달성을 위한 연차별 목표를 연구개발계획서에 제시



#### 나. 사업기간 및 연구개발비

- 사업기간 : 5년 (응용(3), 시험(2))
- 총 연구개발비(정부출연금) : 75억원 이내(응용(45억), 시험(30억))

### 4. 적용 및 파급효과

#### 가. 적용분야

- 민수 :
  - InP HEMT 및 GaN HEMT 화합물반도체 전자 소자는 차세대 (5G) 이동통신기지국 및 모바일 기기, 위성통신 (satellite communication)시스템, 케이블 텔레비전 (Communication Antenna TeleVision; CATV), 선박용 디지털 레이더, 기상 레이더, 항공관제 레이더 등 송수신기의 핵심 소재임.
- 군수 :
  - 현재 국내의 국산화 진행 중인 레이더는 100% 해외의 3-5족 반도체를 매우 고가에 구입하고 있으므로 기술 독립이 필요한 상황임.
  - InP HEMT 및 GaN HEMT 화합물반도체 전자 소자는 고출력 및 고주파동작이 필요한 AESA, 대포병 레이더, 군용통신, 해상 기반 X-band 레이더 (Sea Based X-band radar; SBX), 미사일 seeker, 전자전 (Electronic Warfare; EW) 방해전파 발생기, GPS 교란신호 대응전파 발생기, 내방사선 특성이 요구되는 우주 첩보위성 등에서 핵심 소재임.

#### 나. 파급효과

- 기술적 측면 :
  - GaN 과 InP 전자 소자에 대한 핵심 원천기술 개발을 바탕으로 5G 통신 인프라, 자동차 레이더, 우주, 방위산업, 산업용 센서 등의 국산화 및 관련기업의 경쟁력 증진과 국내 통신 산업의 생태계 조성에 기여함.
  - 플랫폼 구축을 통해 국내 학·연·산 기관에 대한 기술개발 활성화

화 유도 및 높은 기술 장벽을 가진 무선통신 부품 국산화와 소재/공정에 대한 미래 원천기술력 확보 가능.

o 경제·산업적 측면 :

- 화합물반도체의 가장 핵심소자인 고속, 고출력 트랜지스터 제조기반을 토대로 화합물반도체가 사용되는 타 분야 (예를 들어, 광소자, 에너지소자, 센서 소자 등)의 응용에 신속한 대응을 통하여 신산업 창출에 기여 및 활용이 가능하므로 산업 전반에 파급효과가 클 것으로 예상됨.
- 다품종 소량생산의 중소기업에 적합한 기술로 중소기업 육성 및 관련 일자리 창출 가능함.
- 선진국들도 차세대 고출력/고효율 전력소자의 개발을 위해 기술 연구에 투자를 증대하는 블루오션 산업이며, 현재 전력 수입에 의존하고 군사용 및 이동통신 기지국용 저잡음 증폭기/전력 증폭기 등의 소자의 대체뿐만 아니라, 차량용 LiDAR이나 의료 기기 등과 같이 신규 융합산업분야에 적용이 증대되는 추세임.

o 군사적 측면 :

- AESA 레이더 송수신 모듈의 핵심 부품인 InP HEMT를 이용한 저잡음증폭기 와 GaN 전력반도체 소자의 국산화.
  - 능동적 조기 경보체제로 방어시스템 구축에 기여.
  - 에피 소재 기술개발을 통하여 우수한 전략적 자산으로 경쟁력 강화.
  - 파급효과가 큰 전투기 수출시장에 핵심부품의 국산화에 따른 경쟁력 확보
- 내방사선 성능을 필요로 하는 무기체계의 소자로 광범위하게 적용이 가능함.
  - 전자기파 방호시스템.
  - 군사위성 등의 우주 방사선 농도가 높은 지역에서의 전자기기의 소자 및 태양광.
  - 양자우물구조를 활용한 우주에서의 지상 관측시스템으로 활

용성이 기대됨.

## 5. 연구개발 결과 제시물 및 평가항목

### 가. 연구개발 결과 최종 제시물

- o 10  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 Through-InP-Via (TIV) 기술 개발보고서
- o 1 THz 이상의 최대공진주파수 특성을 갖는 초고속/초저잡음 InP HEMT 소자 개발보고서 및 칩 시제품
- o 350 GHz 이상의 최대공진주파수 특성을 갖는 SiC 기반 고효율/고출력 GaN HEMT 소자 개발보고서 및 칩 시제품
- o 3D TIV에 기반한 InP/GaN 소자 집적화 공정 개발보고서

## 나. 연구개발 결과 평가항목

항 목		평 가 내 용	
		응용연구	시험개발
InP HEMT	2-DEG 이동도	$\geq 12,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$\geq 15,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
	에피성장균일도(면저항편차)	$\leq 15 \%$	$\leq 10 \%$
	온저항( $R_{\text{ON}}$ )	$\leq 300 \text{ }\Omega\cdot\mu\text{m}$	$\leq 250 \text{ }\Omega\cdot\mu\text{m}$
	전달컨덕턴스( $g_{\text{m\_max}}$ )	$\geq 2.5 \text{ mS}/\mu\text{m}$	$\geq 3 \text{ mS}/\mu\text{m}$
	항복전압(BV)	$\geq 1.0 \text{ V}$	$\geq 1.5 \text{ V}$
	전류이득차단주파수( $f_{\text{T}}$ )	$\geq 600 \text{ GHz}$	$\geq 700 \text{ GHz}$
	최대공진주파수( $f_{\text{max}}$ )	$\geq 800 \text{ GHz}$	$\geq 1000 \text{ GHz}$
	W-band LNA 잡음지수 (NF)	$\leq 4 \text{ dB @ } 94 \text{ GHz}$	$\leq 3 \text{ dB @ } 94 \text{ GHz}$
	W-band LNA 이득 (Gain)	$\geq 8 \text{ dB @ } 94 \text{ GHz}$	$\geq 10 \text{ dB @ } 94 \text{ GHz}$
GaN HEMT	2-DEG 이동도	$\geq 900 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$	$\geq 1,200 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$
	에피성장균일도(면저항편차)	$\leq 15 \%$	$\leq 10 \%$
	온저항( $R_{\text{ON}}$ )	$\leq 400 \text{ }\Omega\cdot\mu\text{m}$	$\leq 300 \text{ }\Omega\cdot\mu\text{m}$
	전달컨덕턴스( $g_{\text{m\_max}}$ )	$\geq 0.8 \text{ mS}/\mu\text{m}$	$\geq 1 \text{ mS}/\mu\text{m}$
	항복전압(BV)	$\geq 7 \text{ V}$	$\geq 10 \text{ V}$
	전류이득차단주파수( $f_{\text{T}}$ )	$\geq 250 \text{ GHz}$	$\geq 300 \text{ GHz}$
	최대공진주파수( $f_{\text{max}}$ )	$\geq 300 \text{ GHz}$	$\geq 350 \text{ GHz}$
	전력 밀도 ( $P_{\text{density}}$ )	$\geq 1 \text{ W/mm @ } 94 \text{ GHz}$	$\geq 2 \text{ W/mm @ } 94 \text{ GHz}$
	W-band PA 출력전력( $P_{\text{out}}$ )	$\geq 0.5 \text{ W @ } 94 \text{ GHz}$	$\geq 1 \text{ W @ } 94 \text{ GHz}$
3D TIV 집적화	TIV의 InP 두께	$\leq 25 \text{ }\mu\text{m}$	$\leq 10 \text{ }\mu\text{m}$
	연결저항	$\leq 0.02 \text{ }\Omega/\text{connection}$	$\leq 0.01 \text{ }\Omega/\text{connection}$
	-3 dB 연결대역폭	$\geq 15 \text{ GHz}$	$\geq 20 \text{ GHz}$
	연결지연시간	$\leq 10 \text{ psec}$	$\leq 5 \text{ psec}$

※ 각 평가항목에 대한 수행 연도별 목표치, 구체적인 시험평가 방안 및 공인시험성적서 제시 요망.

## 6. 참여 요건

### 가. 추진 체계 요건

- 주관연구기관 및 참여기관 : 민군기술협력사업 촉진법 제7조 제2항 및 동법시행령 제14조 제2항 각 호에 해당하는 기관 또는 단체
  - ※ 응용연구 및 시험개발의 경우에는 주관연구기관 또는 참여기관에 1개 이상의 기업 참여 필수(제27조제4항)
- 기업분담율 : 민·군기술협력사업 공동시행규정 제27조

### 나. 연구책임자의 자격 및 과제 신청요건

- 연구책임자의 자격 : 관련분야의 연구 경험이 풍부한 중견 연구자를 책임자로 선임하여 연구의 최종목표를 달성할 수 있도록 계획, 업무프로세스 정립, 원활한 추진 및 조정과 과제관리를 수행할 수 있어야 한다.
- 과제 신청요건 : 주관연구기관은 제안한 연구개발 목표를 충분히 달성할 수 있는 연구팀을 구성하여야 하며, 필요시 컨소시엄을 구성할 수 있다.

### 다. 기타

- 그림, 표 등 인용된 자료는 반드시 인용처 표기
- 필요시설 및 장비는 자체보유 또는 타 기관 시설 활용계획 명시요망

## 7. 참고문헌

- [1] Thomas E Kazior, “More than Moore: III-V Devices and Si CMOS get it together“, *IEEE Electron Devices Meeting (IEDM)*, pp. 28.5.1-28.5.4, Dec. 2013, 10.1109/IEDM.2013.6724711.
- [2] S. E. Hong, I. K. Kim, S. C. Bang, “밀리미터파 활용 5세대 이동통신 기술 개발 동향“, ETRI, Dec. 2013.

- [3] Northrop Grumman company, “Process Selector Guide of InP PHEMT and GaN HEMT”,  
<http://www.northropgrumman.com/BusinessVentures/Microelectronics/Pages/FoundrySelector.aspx>.
- [4] W. R. Deal, K. Leong, W. Yoshida, A. Zamora and X. B. Mei, “InP HEMT integrated circuits operating above 1,000 GHz”, *IEEE Electron Devices Meeting (IEDM)*, pp. 707-710, Dec. 2016, 10.1109/IEDM.2016.7838502.
- [5] Y. Tang, K. Shinohara, D. Regan, A. Corrion, D. Brown, J. Wong, A. Schmitz, H. Fung, S. Kim and M. Micovic, “Ultrahigh-Speed GaN High-Electron-Mobility Transistors With  $f_T/f_{max}$  of 454/444 GHz”, *IEEE Electron Device Letter (EDL)*, Vol. 36, No. 6, June. 2015, 10.1109/LED.2015.2421311.

#### 8. 과제 문의사항 연락처

소속	성명	연락처
민군협력진흥원	남상우	042-607-6041