

논문 2007-44SD-12-1

# 기존의 MHEMT와 InP 합성 채널 MHEMT의 소자의 항복 특성 분석 및 비교 연구

( Study of Composite channel Structure of Metamorphic HEMT for the Improved Device Characteristics )

최 석 규\*, 백 용 현\*, 한 민\*, 방 석 호\*, 윤 진 섭\*\*\*, 이 진 구\*\*

( Seok Gyu Choi, Yong-Hyun Baek, Min Han, Seok Ho Bang, Jin Seob Yoon, and Jin Koo Rhee )

## 요 약

본 논문에서 기존에 사용하고 있는 metamorphic high electron transistor (MHEMT)의 채널에 InP를 추가하여 제작 하였다. InP는 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As와 비교하여 낮은 충돌 이온화 계수를 가지고 있다. 그런 특성을 MHEMT의 문제점 중의 하나인 낮은 항복전압의 개선에 이용하였다. 우리는 기존의 MHEMT와 InP 합성 채널 MHEMT의 항복 특성과 주파수 특성을 비교 하였다. 본 논문에서 InP 합성 채널 MHEMT의 on-state와 off-state 항복전압이 각각 2.4와 5.7 V가 측정 되었고 또한 cut-off 주파수와 maximum oscillation 주파수는 각각 160 GHz와 230 GHz가 측정 되었다. 위의 결과는 InP 합성 채널 MHEMT가 밀리미터파 대역의 전력용 소자에 이용되는데 큰 장점을 갖는 소자임을 알 수 있다.

## Abstract

In this study, we have performed the channel modification of the conventional MHEMT (metamorphic high electron mobility transistor) to improve the breakdown characteristics. The Modified channel consists of the In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As channel and the InP sub channel instead of the In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As channel. Since InP has the lower impact ionization coefficient in comparison with In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As, we have adopted the InP-composite channel in the modified MHEMT. We have investigated the breakdown mechanism and the RF characteristics for the conventional and the InP-composite channel MHEMTs. From the measurement results, we have obtained the enhanced on and off-state breakdown voltages of 2.4 and 5.7 V, respectively. Also, the increased RF characteristics have brought about the decreased output conductance for the InP-composite channel MHEMT. The cut-off frequency (f<sub>T</sub>) and the maximum oscillation frequency (f<sub>max</sub>) for the InP-composite channel MHEMT were 160 GHz and 230 GHz, respectively. It has been shown that the InP-composite channel MHEMT has the potential applications for the millimeter wave power device.

**Keywords :** MHEMT, InP-Composite channel, Impact ionization

## I. 서 론

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 동국대학교 전자공학과  
밀리미터파 신기술 연구센터  
(MINT, Millimeter-wave INovation Technology  
research center)

\*\*\* 정회원, 서울대학 컴퓨터전자과  
(Department of computer aided system, Seoul  
College)

※ 본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터  
육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11-1999-058-  
02005-0)

접수일자: 2007년4월13일, 수정완료일: 2007년11월27일

최근의 무선통신 산업의 비약적인 발전은 우수한 성능을 갖는 소자의 수요를 더욱 증가 시키고, 이에 따른 높은 대역의 주파수에서 우수한 특성을 갖는 소자의 개발에 많은 연구를 필요로 하고 있다. 또한 무선 통신의 중요성이 점점 증가 되면서 무선 통신 환경에서 더욱 멀리 정보를 전달하기 위해서 전력용 능동소자 개발이 활발하게 진행 되고 있다. 밀리미터파 대역에서 사용 가능한 능동소자로는 GaAs 기반의 PHEMT

(pseudomorphic high electron mobility transistor)와 MHEMT 및 InP 기반의 HEMT 등이 있다. 특히 GaAs 기반의 MHEMT와 InP 기반의 HEMT는 InAlAs/InGaAs 이중접합 구조를 사용하여 높은 주파수 응답특성 및 낮은 잡음 특성을 나타내고 있어, V-band 및 W-band 주파수 영역에서 사용 가능한 능동소자로 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 높은 전자 전송 능력을 가진 InAlAs/InGaAs 구조가 비교적 낮은 전계에서도 공핍 영역에서의 충돌이온화 현상으로 인한 항복현상이 발생하여 항복전압이 낮아 출력전력이 작다는 단점이 있다. 이러한 InAlAs/InGaAs 이중접합 구조의 단점을 극복하기 위하여 합성된 채널 (composite channel) 을 사용하여 비교적 높은 전계 내에서도 충돌이온화 현상을 감소시켜 소자의 항복특성을 향상시킬 수 있는 능동소자에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>1)~4)</sup>.

본 논문에서는 GaAs 기반의 InAlAs/InGaAs conventional MHEMT와 전력특성 향상을 위하여 InGaAs 채널에 InP를 합성한 채널을 갖는 MHEMT를 제작 하고 각 소자의 특성의 비교 분석을 수행하였다.

## II. Epitaxial 구조

그림 1은 기존의 MHEMT와 InP-합성채널 MHEMT 에피 구조 이다. 기존의 MHEMT는 그림 1-(1)와 같이 MBE (Molecular Beam Epitaxy)를 이용하여 4 인치 반절연 GaAs기판 위에 성장 시켰다. 최초로 반절연 GaAs기판의 평탄화와 누설 전류의 방지를 위해  $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$  버퍼 층 (buffer layer)을변화 시키며 1000 Indium 볼분율 X를 0에서 0.5까지 nm의 두께로 성장 시키고 400 nm  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  버퍼 층을 성장 시켰다. 또한  $1.3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  와  $4.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$   $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  상향 및 하향 델타 도핑 층 사이에 10 nm의  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  채널 층을 성장하였다. 마지막으로 도핑되지 않은 15 nm 두께의  $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  도너 층과 접촉 저항과 오믹 특성의 향상을 위하여  $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  n+InGaAs 캡 층을 성장 시켰다. InP 합성채널 MHEMT는 거의 같은 구조를 가지고 있고 차이점은 23 nm의  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  채널 층 대신에 10 nm의  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  채널 층과 도핑되지 않은 InP 합성 채널 층이 성장하였다. InP 합성 채널 MHEMT의 에피 구조를 그림 1-(2)에서 나타내었다.

|                    |   |                                    |        |
|--------------------|---|------------------------------------|--------|
| Cap                | $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$     | $6 \times 10^{18} / \text{cm}^2$   | 15nm   |
| Barrier            | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 15nm   |
|                    | $\delta$ -doping                                | $4.5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ |        |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 3nm    |
| Channel            | $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$     | Undoped                            | 23nm   |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 4nm    |
|                    | $\delta$ -doping                                | $1.0 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ |        |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 400nm  |
| Buffer             | $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ (X=0-0.5) | Undoped                            | 1000nm |
| S.I GaAs Substrate |   |                                    |        |

(1)

|                    |   |                                    |        |
|--------------------|---|------------------------------------|--------|
| Cap                | $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$     | $6 \times 10^{18} / \text{cm}^2$   | 15nm   |
| Barrier            | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 15nm   |
|                    | $\delta$ -doping                                | $4.5 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ |        |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 3nm    |
| Channel            | $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$     | Undoped                            | 13nm   |
| Sub-channel        | InP   | Undoped                            | 10nm   |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 4nm    |
|                    | $\delta$ -doping                                | $1.0 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ |        |
|                    | $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$     | Undoped                            | 400nm  |
| Buffer             | $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ (X=0-0.5) | Undoped                            | 1000nm |
| S.I GaAs Substrate |   |                                    |        |

(2)

그림 1. 제작된 MHEMT 에피 구조 (1) 기존의 MHEMT (2) InP 합성 채널 MHEMT

Fig. 1. Epitaxial structure of (1) conventional MHEMT and (2) InP-composite channel MHEMT.

## III. 소자의 제작

소자간의 절연과 단일 소자 내에서의 각 단자 간에 형성된 기생성분 등을 제거 또는 최소화하기 위하여 MESA 격리 공정을 수행 하였다. 본 논문에서 웨이퍼 위의 활성 영역을 전기적으로 격리시키기 위하여  $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$  식각용액을 이용하여 식각을 행하였다. 소자에서의 오믹 접촉을 수행하기 위하여 AuGe/Ni/Au (140 : 30 : 160 nm)를 E-gun Evaporator를 이용하여 증착 한 후 RTP를 이용하여 320 °C, 60 sec 조건으로 annealing 공정을 수행 하였다. 설계된 TLM(Transmission Line Method) 패턴을 이용하여 오믹 저항을 측정 한 결과  $5 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항 값을 나타내었다. Gate 전극 형성을 위하여 E-beam 현상 공정을 사용 하여 T-gate 패턴을 형성하고 게이트 리세스(Recess) 식각을 위해서 succinic acid/ $\text{H}_2\text{O}_2$ / $\text{H}_2\text{O}$

용액을 이용하여 게이트와 소스 사이를 식각하는 narrow recess 공정을 진행하였고 Ti/Au (400 : 50 nm)의 게이트 전극 금속을 증착 하였다. Gate 공정 후 표면 보호를 위하여  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (900 Å)로 passivation을 수행하였다. 마지막으로 passivation된 각각의 소자들에서 측정을 위한 패드 부분의  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 를 제거하기 위해서 ICP-RIE (Inductively Coupled Plasma-Reactive Ion Etching)를 이용하여 건식 식각 공정을 진행하였다.

InP 합성 채널 MHEMT의 제작 방법은 기존의 MHEMT와 비교하여  $\text{HCl} : \text{H}_3\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}$  식각용액을 MESA 격리 공정에 추가하여 사용하는 것을 제외하면 같은 순서로 공정을 진행 하였다. 제작된 소자는 70  $\mu\text{m}$ 의 게이트 폭을 갖고 100 nm의 게이트 길이를 갖는다 [5-10]

IV. 측정 결과

제작된 소자는 각각의 게이트 폭에 대하여 Agilent사의 HP 4156A DC parameter analyzer를 이용하여 DC 특성을 측정하였다. 그림 2와 3은 소자의 최대 드레인 전류  $I_{dss}$ 와 최대 전달 컨덕턴스 gm의 변화를 나타낸 그림이다. 기존의 MHEMT는 76.7 mA의 드레인 포화 전류 및 810 mS/mm의 전달 컨덕턴스를 나타내었으며, InP composite channel을 사용한 MHEMT는 76.4 mA의 드레인 포화전류 및 760 mS/mm의 전달 컨덕턴스로 composite channel MHEMT의 전달 컨덕턴스의 특성이 감소 되는 결과를 얻었다. RF 특성은 Anritsu사의 ME7808A Vector Network Analyzer를 사용하여 0.5~

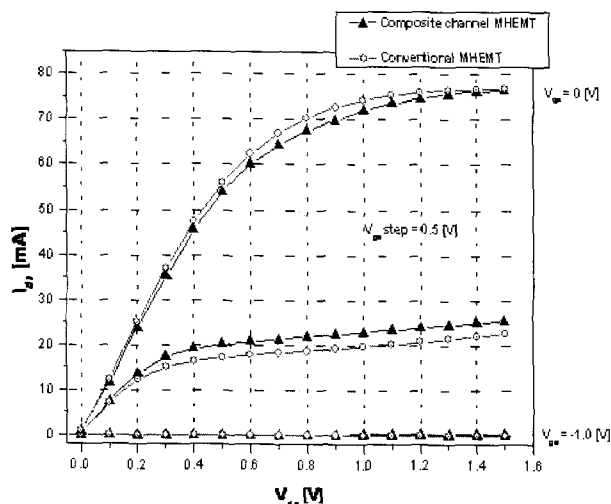


그림 2 제작된 MHEMT의 I-V 특성  
Fig. 2. I-V characteristics of the fabricated MHEMTs.

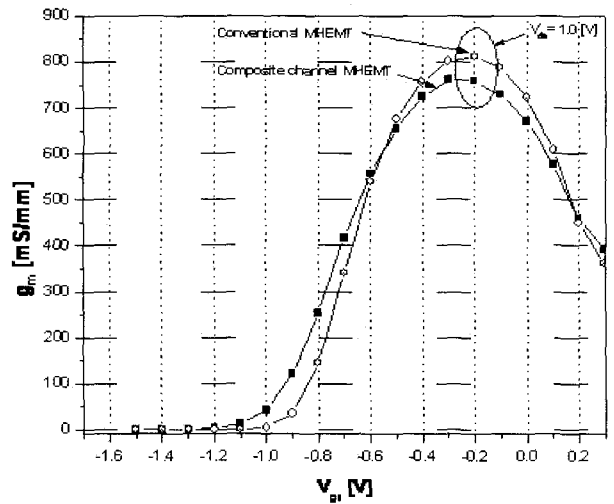


그림 3. 제작된 MHEMT의 최대 전달 컨덕턴스 비교  
Fig. 3. Extrinsic transconductance (gm) of the fabricated MHEMTs.

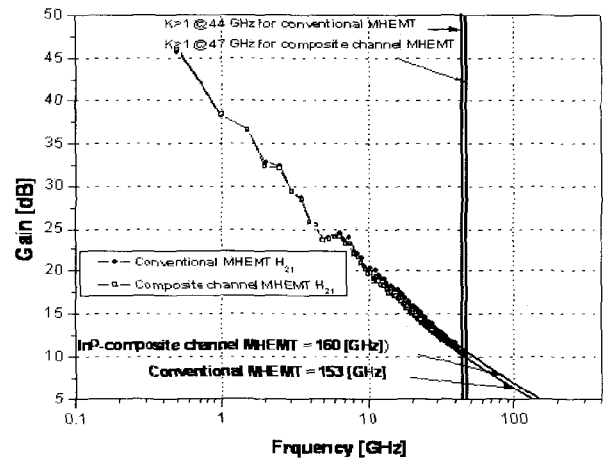


그림 4. 제작된 MHEMT의 전류 이득 차단 주파수 (fT)  
Fig. 4. Cut-off frequency of the fabricated MHEMTs.

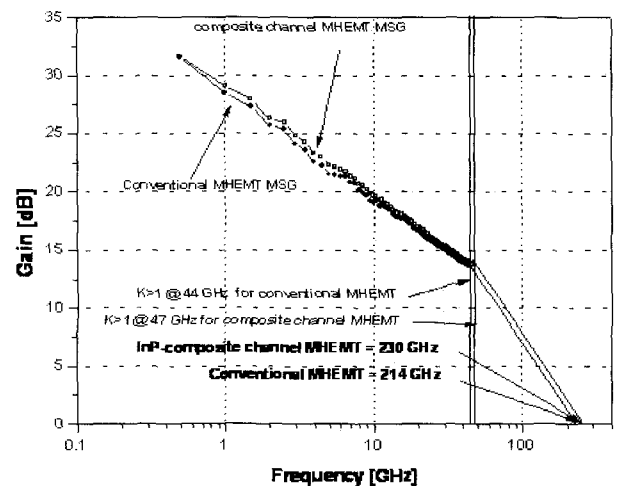


그림 5. 제작된 MHEMT의 최대 발진 주파수 (fmax)의  
Fig. 5. Maximum oscillation frequency of the fabricated MHEMTs.

100 GHz 대역에서 On-wafer 측정 방법으로 S-parameter 특성을 측정하였다. 기존의 MHEMT는 약 214 GHz의  $f_{max}$ 와 153 GHz의  $f_T$ 를 나타내는 반면 InP composite channel MHEMT는 약 230 GHz의  $f_{max}$ 와 160 GHz의  $f_T$ 가 측정되었다. 그림 3과 4에 측정 결과를 나타내었다. 또한 소자의 항복특성의 변화를 알아보기 위하여 off-state와 on-state 항복전압을 측정하였다. 기존의 MHEMT는 약 2.0 V의 on-state 항복전압과 4.5 V의 off-state 항복전압이 측정되었고 InP composite channel MHEMT는 2.4 V의 on-state 항복전압과 5.7 V의 off-state 항복전압이 측정되었다. 그림 5는 기존의 MHEMT와 InP 합성채널 MHEMT의 항복전압을 측정한 결과이다.

### V. 결과 분석

HEMT구조에서 항복전압 현상은 대부분 채널 층의 충돌 이온화 효과의 영향으로 설명될 수 있다. 충돌 이온화 효과는 전자의 주입에 의한 전공의 생성을 야기한다. 이런 메커니즘은 소자의 항복 (breakdown), burn-out, 출력 컨덕턴스의 증가와 Kink 효과를 야기한다<sup>[11]</sup>. 이런 충돌 이온화 효과를 정량적으로 표현한 계수가 충돌 이온화 계수이다. 충돌 이온화 계수는 단위 길이 당 가해진 전계와 운송자 (carrier) 에 의해 생성된 전자 전공 쌍 (EHP)의 개수로 정의된다. 이전의 연구에서 우리는 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As보다 InP의 충돌 이온화 계수가 낮다는 것을 알 수 있었다.<sup>[11~13]</sup> 본 논문에서는 기존의 MHEMT와 InP 합성채널 MHEMT를 제작하였

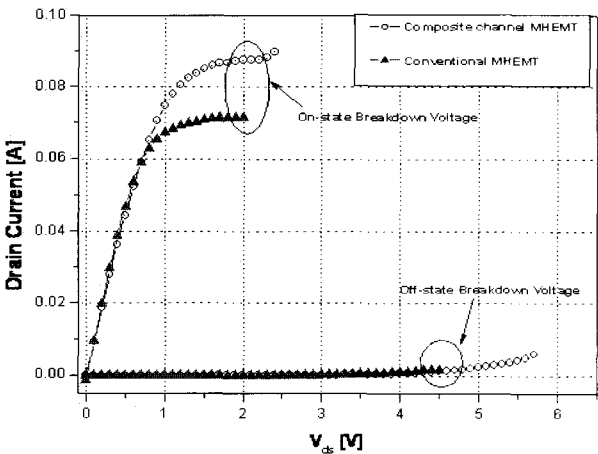


그림 6. 제작된 MHEMT의 on-state & off-state 항복전압

Fig. 6. On and off-state breakdown voltages of the fabricated MHEMTs.

표 1. 제작된 MHEMT의 소 신호 파라메타

Table 1. Intrinsic parameters of the fabricated MHEMTs.

|                         | Intrinsic parameter |               |               |            |            |
|-------------------------|---------------------|---------------|---------------|------------|------------|
|                         | $C_{gs}$ [pF]       | $C_{gd}$ [pF] | $C_{ds}$ [pF] | $G_d$ [mS] | $G_m$ [mS] |
| Composite channel MHEMT | 0.096               | 0.017         | 0.042         | 6.16       | 86.2       |
| Conventional MHEMT      | 0.095               | 0.014         | 0.046         | 8.76       | 88.3       |

고 소자의 성능을 분석 하였다. 측정된 결과에서 InP 합성채널 MHEMT의 on-state, off-state 항복전압이 기존의 MHEMT와 비교하여 각각 20 %, 27%가 증가하였다.

이러한 현상은 위에서 설명한 낮은 충돌 이온화 계수로서 설명할 수 있다. 또한, 그림 2에서와 같이 기존의 MHEMT와 InP composite channel MHEMT의 DC 특성을 비교한 결과 InP composite channel MHEMT가 더 낮은 전달 컨덕턴스 (gm) 값이 측정되었다. 그러나 주파수 특성을 비교 해본 결과 비슷하거나 조금 증가된 특성이 측정되었다. 본 실험 결과는 제작된 소자들 전반에 걸쳐 발생되었던 현상이다. 소자에서의 gm은 주파수 특성에 많은 영향을 주는 파라메타 중의 하나이다. gm의 감소하면 주파수 특성은 감소한다. 그러나 본 실험에서는 InP 합성 채널 MHEMT의 주파수 특성이 비슷하거나 오히려 증가되는 특성이 나타났다. 그래서 우리는 소자의 특성을 알아보기 위하여 소 신호 파라메타를 추출하여 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서와 같이 다른 성분들은 거의 비슷한 값을 갖지만 출력 컨덕턴스 (gd) 는 InP 합성 채널 MHEMT가 약 30 % 감소하였다. 감소된 gd는 충돌 이온화 의 감소로 설명될 수 있다<sup>[14~22]</sup>. 그러므로 InP 합성 채널 MHEMT의 낮은 충돌 이온화 계수는 소자의 항복전압을 증가시키고 주파수 특성 개선에 영향을 줄 수 있다. 위의 결과는 V-band 이상의 millimeter-wave 대역의 전력용 소자로서 InGaAs 채널만을 사용한 MHEMT보다 InP 합성채널을 사용한 MHEMT 구조가 유리함을 알 수 있었다.

### VI. 결론

본 논문에서는 항복특성을 개선하기 위해 InP composite channel MHEMT를 제안하였다. 기존의 MHEMT와 특성을 비교한 결과 유사하거나 증가된 주파수 특성을 얻었으며, 특히 항복전압은 높은 값을 얻

을 수 있었다. 따라서 V-band 이상의 높은 주파수 대역에서 전력용 소자로서 InGaAs channel만을 사용한 MHEMT비하여 InP composite channel를 사용한 MHEMT 구조가 유용한 제안 중의 하나 라는 것을 입증 하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Enoki, K. A. Kohzen, and Y. Ishii, "Design and Characteristics of InGaAs/InP Composite-Channel HFET's" *IEEE Transactions on Electron Device*. Vol. 42, NO. 8 1413 (1995)
- [2] C. Gässler, V. Ziegler, C. Wölk, R. Deufel, F. J. Berlec, , "Metamorphic HFETs on GaAs with InP-subchannels for device performance improvements," *2000IEEE International Electron Device Meeting*. 8.3.1 (2000)
- [3] J.B. Shealy, T.Liu, R. Virk, J. Pusch, and C. Ngo, "K-Band High-Power/Efficiency/Breakdown GaInAs/InP Composite Channel HEMT's," *IEEE Microwave and Guided Wave Latt*, Vol. 7. NO. 9, 1997 pp. 261.
- [4] P. Chevalier, X. Wallart, F.Mollot, B. Bonte and R. Fauquenmbergue, "COMPOSITE CHENNEL HEMTs FOR MILLIMETER-WAVE POWER APPLCATIONS," *10<sup>th</sup> Intern. Conf. on Indium Phosphide and Materials*. 207 (1998)
- [5] B. H. Lee, S. D. Kim, J. K. Rhee, "Small-Signal Analysis of High Maximum Frequency of Oscillation 0.1- $\mu$ m Off-Set Gamma-Shaped Gate InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic High-Electron-Mobility Transistors", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 43, PP 1914-1918, 2004.
- [6] W. S. Sul, D. H. Shin, J. K. Rhee, "Sub 0.1  $\mu$ m Asymmetric Gamma-gate PHEMT Process Using Electron Beam Lithography," *in proceeding of Materials Research Society 2002 Spring Meeting*, San Francisco, CA, p.169, Apr. 2002.
- [7] S. C. KIM, B. O. Lim, H. S. Kim, S. D. Lee, B. H. Lee, W. S. Sul, D. H. Shin, and J. K. Rhee, "Sub 0.1- $\mu$ m Asymmetric  $\Gamma$ -gate PHEMT process using electron beam lithography," *in proceedings of 28th international Symposium Compound Semiconductors*, pp. 95-100, 2001.
- [8] B. H. Lee, D. An, M. K. Lee, B. O. Lim, S. D. Kim, and J. K. Rhee, "Two-stage broadband high gain W-band amplifier using 0.1- $\mu$ m metamorphic HEMT technology", *IEEE Electron Device Letters*, Vol. 25, PP 766-768, Dec. 2004.
- [9] Hae-Sung Kim, Byeong-Ok Lim, Sung-Chan Kim, Seong-Dae Lee, Dong-Hoon Shin and Jin-Koo Rhee, "Studies of the fabrication of PHEMTs for a 0.1  $\mu$ m scale  $\Gamma$ -gate using electron beam lithography: structure, fabrication, and characteristics," *Microelectronic Engineering*, vol. 63, issue 4, pp. 419-431, 2002.
- [10] J. W. Shin, Y. S. Yoon, S. D. Lee, H. C. Park and J. K. Rhee, "Effects of He gas on hydrogen content and passivation of GaAs PHEMT with SiN films," *2000 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD)*, 2000, pp. 121~124.
- [11] M. Boudrissa, E. Delos, X. Wallaert and D. Théron, Member, IEEE, and J.C,De Jaeger, "A 0.15- $\mu$ m 60-GHz High-Power Composite Channel GaInAs/InP HEMT with Low Gate Current" *IEEE Electron Device Letter*, Vol. 22, NO. 6, June 2001
- [12] Gaudenzio Meneghesso, Alvise Mion, Andrea Neviani, Mehran Matoubial, Julia Brown, Madjid Hafizi, Takyiu Liu, Claudio Canal, Maura Pavesi, Manfredi, and Enrico Zanoni "Effect of channel quantization and temperature on off-state and on-stage breakdown in composite channel and conventional InP-based HEMT's," *Electron Devices Meeting*, 1996., International 8-11 Dec. 1996 pp. 43 - 46
- [13] Hin-Fai Chau and Dimitris Pavlidis, "A physics-based fitting and expolation method for measured impact ionization coefficient in III-V semiconductor," *J.Appl. Phys.* 72 (2), 15 July 1992 pp. 531 - 538
- [14] Meneghesso, G. Neviani, A. Oesterholt, R. Matloubian, M. Liu, T. Brown, J.J. Canali, C. Zanoni, E, "On-state and off-state breakdown in GaInAs/InP composite-channel HEMT's with variable GaInAs channel thickness" *IEEE Electron Devices, Transactions on* Vol 46, Issue 1, Jan. 1999 pp. 2 - 9
- [15] Hara, N. Okamoto, N. Imanishi, K. Sawada, K. Takahashi, T. Makiyama, K. Takikawa, M. "Improvement in Reliability InP-Based HEMTs by supressing impact ionization" *Indium Phosphide and Related Materials, 2004. 16th IPRM. 2004 International Conference* on 31 May-4 June 2004 pp. 615 - 618
- [16] Ladner, C.; Berthelemot-Aupetit, C.; Decobert, J.; Harmand, J.-C.; Post, G.; Vigier, P.; Dumas, J.-M. "Comparative investigation of gate leakage current in single and double channel InP HEMT," *Indium Phosphide and Related*

*Materials, 1998 International Conference on* 11-15 May 1998 pp, 505 - 508

[17] Webster RT, Wu S, Anwar AFM. "Impact ionization in InAlAs/InGaAs/InAlAs HEMT's," *IEEE Electron Device Letter* 2000. 21(5), pp. 193-5

[18] Mark Isler "Investigation and modeling of impact ionization in HEMTs for DC and RF operating condition," *Solid-state Electronics* 46 2002, pp. 1587-1593

[19] M. Chertouk, H. Heib, D. Xu, S. Kraus, W. Klein, G. Böhm, G. Tränkle and G. Weimann "METAMORPHIC InAlAs/InGaAs HEMTs ON GaAs SUBSTRATES WITH COMPOSITE CHANNELS AND fmax of 350 GHz," *Indium Phosphide and Related Materials, 1995. Conference Proceedings. Seventh International Conference on* 9-13 May 1995 pp. 737 - 740

[20] J. A. del Alamo and M. H. Somerville "Breakdown in millimeter-wave power InP HEMTs: a comparison with GaAs PHEMT's," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol 34,9,1999 pp. 1204 - 1211

[21] Wang, S.C. Liu, J.S. Hwang, K.C. Kong, W. Tu, D.W. Ho, P. Mohnkern, L. Nichols, K. Chao, P.C. "High performance fully selective double recess InAlAs/InGaAs/InP HEMTs," *IEEE Electron Device Letters*, Vol 21,Issue 7,July 2000 pp. 335 - 337

[22] M. Amano, S. Fujita, S. Hosoi, T. Noda, A. Sasaki, and Y. Ashizawa, "InAlAs/InGaAs HEMT using InGaP Schottky contact layer," in *Proc. Int. Conf. InP and Related Materials, 1995*, pp. 416-419

저 자 소 개



최 석 규(학생회원)  
 2004년 국립 환경대학교  
 전자공학과 공학사  
 2006년 동국대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2006년~현재 동국대학교  
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : MMIC 공정 및 설계 W-band system>



한 민(학생회원)  
 2003년 동국대학교 전자공학과  
 공학사  
 2005년 동국대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2006년~현재 동국대학교  
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : E-beam lithography, 초고주파회로 설계 및 제작>

윤 진 섭(정회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제 44 권 SD 편제 9호 참조



백 용 현(학생회원)  
 2003년 동국대학교 전자공학과  
 공학사,  
 2005년 동국대학교 전자공학과  
 공학석사,  
 2005년~현재 동국대학교  
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : MMIC 공정 및 설계 W-band system>



방 석 호(학생회원)  
 2005년 배재대학교 전자공학과  
 공학사  
 2005년~현재 동국대학교  
 전자공학과 석사과정

<주관심분야: 반도체 및 RF 집적회로 설계, MMIC를 이용한 통신 모듈설계, Flip chip 기술을 이용한 패키징>

이 진 구(평생회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제 44 권 SD 편 제 9호 참조