

論文2000-37SD-1-1

Al₂O₃ 절연막을 게이트 절연막으로 이용한 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET의 제조

(Fabrication of a depletion mode n-channel GaAs MOSFET using Al₂O₃ as a gate insulator)

全本謹*, 李昔憲*, 李正熙*, 李龍鉉*

(Bon-Keun Jun, Suk-Hyun Lee, Jung-Hee Lee, and Yong-Hyun Lee)

요 약

본 논문에서는 반절연성 GaAs 기판위에 Al₂O₃ 절연막이 게이트 절연막으로 이용된 공핍형모드 n형 채널 GaAs MOSFET(depletion mode n-channel GaAs MOSFET)를 제조하였다. 반절연성 GaAs 기판위에 1 μm의 GaAs 버퍼층, 1500 Å의 n형 GaAs층, 500 Å의 AlAs층, 그리고 50 Å의 캡층을 차례로 성장시키고 습식열산화 시켰으며, 이를 통하여 AlAs층은 완전히 Al₂O₃층으로 변환되었다. 제조된 MOSFET의 I-V, g_m, breakdown특성 측정 등을 통하여 AlAs/GaAs epilayer/S·I GaAs 구조의 습식열산화는 공핍형 모드 GaAs MOSFET를 구현하기에 적합함을 알 수 있다.

Abstract

In this paper, we present n-channel GaAs MOSFET having Al₂O₃ as gate insulator fabricated on a semi-insulating GaAs substrate. 1 μm thick undoped GaAs buffer layer, 1500 Å thick n-type GaAs, undoped 500 Å thick AlAs layer, and 50 Å thick GaAs caplayer were subsequently grown by molecular beam epitaxy(MBE) on (100) oriented semi-insulating GaAs substrate oxidized. When it was wet oxidized, AlAs layer was fully converted Al₂O₃. The I-V, g_m, breakdown characteristics of the fabricated GaAs MOSFET showed that wet thermal oxidation of AlAs/GaAs epilayer/S·I GaAs was suitable in realizing depletion mode GaAs MOSFET.

1. 서 론

GaAs는 Si에 비해 전자이동도가 약 6배, 캐리어 최대속도가 약 2배 정도 크고^[1], 또한 에너지 밴드갭이 1.43 eV로 Si에 비해 크므로 고속소자에 응용이 가능하

고, 사용 가능한 온도 범위도 Si에 비하여 넓고, 외부잡음에도 강하다는 장점이 있다^[2]. 그러나 GaAs 전자소자에 있어서 양질의 게이트 절연막을 형성하기가 어렵기 때문에 Si에 비하여 그 사용범위가 제한되어져 왔다. 그래서 GaAs는 MESFET^[3], HBT^[4], HEMT^[5], 와 같은 소자 중심으로 응용이 되어왔으나, 현재 Si 집적회로 기술의 주종을 이루고 있는 MOSFET 형태의 소자는 상용화되지 못하고 있는 실정이다.

그럼에도 불구하고 1962년 GaAs의 열적산화에 대한 연구가 처음 시작된 이래로 GaAs 기판 위에 양질의 산화막을 형성시키려는 시도가 많이 이루어져 왔다^[6]. GaAs 기판에 절연막을 형성하는 기술은 GaAs 기판을 직접 산화하여 산화막을 형성시키는 방법과, GaAs 기

* 正會員, 慶北大學校 電子·電氣工學部

(School of Electronic & Electrical Engineering Kyungpook National University)

※ 본 연구는 서울대학교 반도체공동연구소의 교육부 반도체분야 학술연구조성비(과제번호: ISRC 97-E-3014)에 의해 수행되었습니다.

接受日字:1999年2月24日, 수정완료일:1999年12月27日

판위에 절연막을 증착시키는 방법이 있다^{7,8)}. 그러나 이러한 방법들을 이용하여 형성된 절연막은 계면에서의 원소형 As 및 격자변형 등으로 인하여 높은 계면상태밀도(interface state density)와 큰 누설전류(leakage current)로 인하여 MIS(metal insulator semiconductor) 소자에 응용하기가 어렵다.

그러나 최근에 H₂O 또는 OH-기가 포함된 습식산화공정이 건식산화공정보다 GaAs MIS소자의 계면특성을 향상시킬 수 있다는 보고가 있었고⁹⁾, J. M. Dallessase 등¹⁰⁾은 레이저 다이오드의 Al_xGa_{1-x}As/AlAs/GaAs 초격자(superlattice) 구조를 제작하여 이를 산화시켜 형성된 산화막이 표면보호(surface passivation)와 전류차단(current blocking)에 대한 특성을 향상시켰음을 보고하였으며 Lee 등¹¹⁾은 AlAs를 습식산화하여 형성된 Al₂O₃ 절연막과 GaAs 계면사이의 계면상태밀도가 $1 \times 10^{11} / \text{cm}^2 \cdot \text{eV}$ 정도로 MOSFET를 제조하기에 충분히 낮은 값을 보고하였다. 그리고 최근 AlAs를 수평적(laterally)으로 열산화시켜 형성된 Al₂O₃ 절연막을 이용하여 MOSFET 제작을 시도한 경우가 있었으나 전류차단전압(current cut-off voltage)과 핀치오프전압(pinch-off voltage)이 높고 핀치오프전압 이후에도 계속 전류값이 증가하는 등의 단점이 있다¹²⁾.

본 논문에서는 AlAs층을 GaAs와 선택적으로 열산화시켜 형성된 Al₂O₃ 절연막을 GaAs MOSFET의 게이트 절연막으로 사용하여 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET를 제조하였다. MBE를 이용하여 반절연성 GaAs 기판위에 1 μm 의 GaAs buffer 층과 1500 Å의 n형 GaAs 단결정을 성장시키고, 그 위에 500 Å의 단결정 AlAs 층을 성장시켰다. 그리고 AlAs층이 상온에서 급격하게 산화되는 것을 방지하기 위하여 약 50 Å의 GaAs caplayer를 AlAs층위에 성장시켰다. 이렇게 성장된 시편을 습식산화시켰다. 제조된 소자의 특성 평가는 먼저 Hall 측정 장비를 이용하여 MOSFET의 채널층으로 이용될 부분인 도우핑층의 전자 이동도를 측정하였으며, 산화막의 항복전압(breakdown voltage) 특성을 조사하였다. 그리고 MOSFET 소자를 제조하였고, 제조된 소자에 대하여 전압-전류, 상호전달컨덕턴스(g_m) 및 소오스-드레인간의 항복전압 특성 측정 등을 행하였다.

II. 소자제작

본 연구에서는 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET를 제

조하기전에 산화막의 전기적 절연특성을 조사하기 위하여 MOS capacitor를 제작하였다. 도우핑 농도가 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 이상되는 n+ GaAs 기판위에 도우핑 농도 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 의 n형 GaAs 에피층을 성장하였고 그 위에 약 1500 Å의 AlAs, 50 Å의 GaAs caplayer를 차례로 성장하였다. 이를 400 °C에서 3시간 동안 습식산화시키고 MOS capacitor를 제조하였다¹¹⁾. 그림 1은 제조된 MOS capacitor의 단면도(a) 및 패턴(b)을 나타낸 것이다.

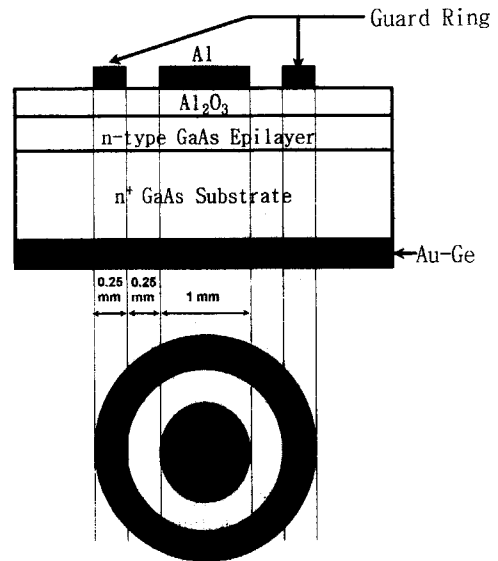


그림 1. GaAs MOS-capacitor의 단면도 및 dot mask 패턴

Fig. 1. Cross section of GaAs MOS-capacitor and its dot mask pattern.

그림 2는 n-type GaAs MOSFET의 제조공정을 나타낸 것이다. 먼저 그림 2(a)와 같이 MBE법을 이용하여 반절연성(Semi-Insulating) GaAs 기판위에 1 μm 두께로 도핑을 하지않은 GaAs 버퍼층을 성장하였고, 그 위에 1500 Å 두께로 n-type GaAs 에피층과 500 Å 두께의 AlAs 층을 차례로 성장하였고 그 위에 AlAs 층이 상온에서 급격하게 산화되는 것을 방지하기 위하여 약 50 Å의 GaAs caplayer를 성장시켰다. 제작된 시편을 양질의 게이트 산화막을 형성하기 위하여 400 °C에서 3시간동안 습식산화법(wet oxidation)으로 산화시켰다¹¹⁾. 그림 2(b)는 산화막이 형성된 후의 시편의 단면도를 나타낸 것이다. 게이트 전극을 형성하기 위하여 2000 Å의 Al을 진공증착하고 lift-off법으로 그림

2(c)와 같은 패턴을 형성하였다. 그리고 소자간의 전기적 활성 영역을 정의하기위하여 그림 2(d)와 같이 $H_3PO_4:H_2O:H_2O(2:2:15)$ 혼합용액으로 mesa 식각을 행하였다. 그리고 lift-off 법을 이용하여 소오스와 드레인 영역을 정의하고 $HF:H_2O(1:20)$ 용액으로 Al_2O_3 절연막을 식각하였다. 그리고 소오스-드레인 금속으로 $Au(1500 \text{ \AA})/Ni(500 \text{ \AA})/Au-Ge(1000 \text{ \AA})$ 을 차례로 E-beam evaporator를 이용하여 "in-situ"로 그림 2(e)와 같이 증착하였다^[13]. 이 소자들을 저항성 접촉을 형성하기 위하여 400 °C 30분 동안 질소 분위기에서 열처리를 행하였다^[13]. 그림 3은 이렇게 제조된 GaAs MOSFET의 사진을 나타낸 것이다.

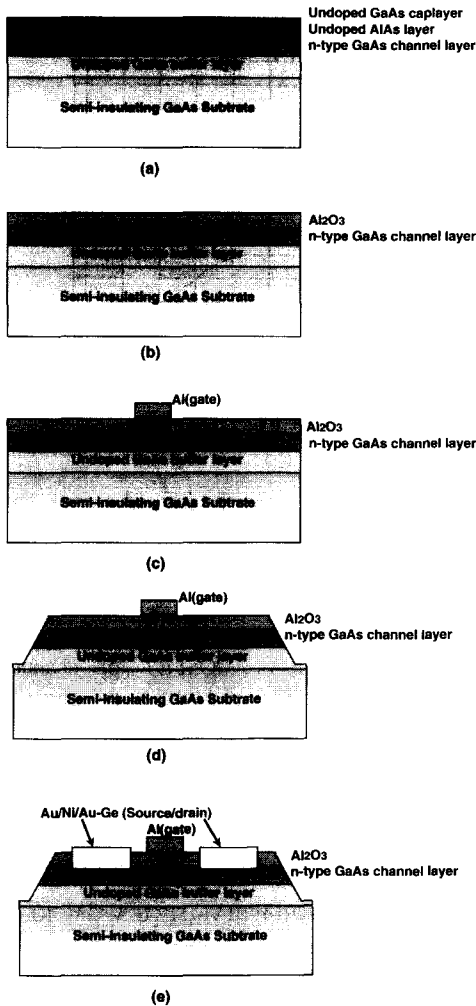


그림 2. Depletion-mode n-channel GaAs MOSFET의 제조공정도
 Fig. 2. Fabrication process of GaAs depletion-mode n-channel GaAs MOSFET.

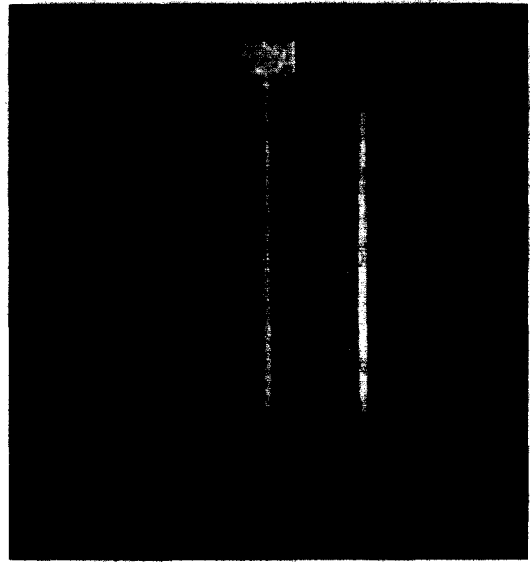


그림 3. 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET의 사진
 Fig. 3. Photography of depletion mode n-channel GaAs MOSFET.

III. 결과 및 고찰

본 논문에서는 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET를 제작하기전에 Hall 측정을 통하여 GaAs기판의 특성과 산화막의 절연파괴특성 및 산화막의 두께를 조사하였다. 표 1은 도우핑 농도에 따른 GaAs 채널층의 Hall 측정 결과를 나타낸 것이다. 채널의 농도가 $1 \times 10^{17} /cm^3$ 과 $7 \times 10^{17} /cm^3$ 일 때 Hall 이동도는 각각 $2970 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 와 $2280 \text{ cm}^2/V \cdot \text{sec}$ 로 측정되었다. 그리고 그림 2(b)의 시편을 ellipsometer를 이용하여 Al_2O_3 막의 두께를 측정된 결과 약 500 Å으로 그림 2(a)의 AlAs막의 두께와 거의 비슷하였다.

표 1. 도우핑 농도에 따른 GaAs의 Hall 측정 결과

Table 1. Results of Hall measurement of GaAs as a function of doping concentration.

Doping concentration	Resistivity		Hall	
	sheet (Ω/\square)	bulk ($\Omega\text{-cm}$)	coefficient (m^2/C)	mobility ($cm^2/V \cdot \text{sec}$)
$1 \times 10^{17}/cm^3$	1250	0.0187	-382	2970
$7 \times 10^{17}/cm^3$	866	0.013	-284	2280

그림 4는 게이트 절연막의 절연과괴 특성을 나타낸 것이다. 게이트 전압 55.7 V에서 절연과괴 현상이 일어났으며 누설전류는 MOS 소자의 게이트 전압의 통상적인 사용범위인 10 V 미만에서는 수 pA 정도로 나타났고, 절연과괴 전압에서는 4.04 nA로 나타났다. 그리고 단위길이당 절연과괴 전계는 약 11.14 MV/cm로 Si 위에 열적 산화한 SiO₂의 특성보다 더 높게 나타났다^[14].

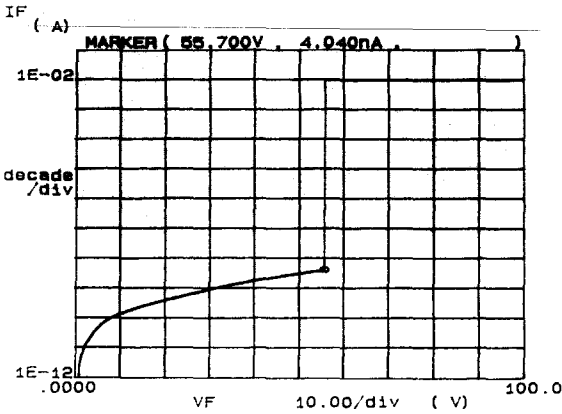
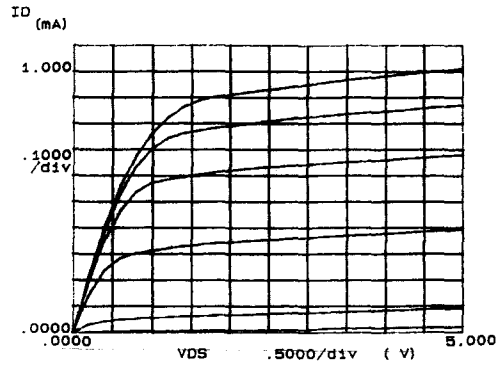
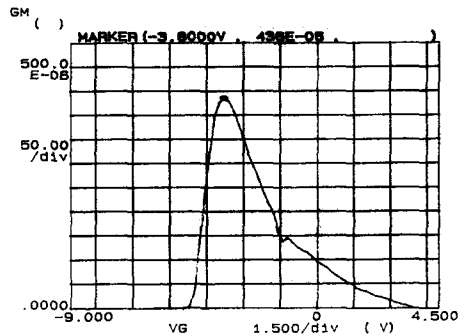


그림 4. Al₂O₃ 절연막의 누설 전류 및 항복 전압 특성
Fig. 4. Leakage current and breakdown voltage characteristics of Al₂O₃ film.

그림 5(a)와 (b)는 채널의 도우핑 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이(L)가 10 μm 이고 폭이(W)가 300 μm 인 GaAs MOSFET의 전압-전류특성 및 상호전달콘덕턴스(transconductance, g_m)를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 전압-전류특성으로 드레인전압(V_{DS})은 0 V에서 5 V까지 인가되었고, 게이트 전압(V_G)은 0 V에서 -3.5 V까지 -0.7 V의 간격으로 인가되었다. 게이트전압이 0 V일 때 포화영역의 드레인 전류(I_{DSS})는 약 1.0 mA 정도였으며 게이트 전압이 약 -3.5 V일 때 채널은 완전히 공핍됨을 알 수 있다. 그림 5(b)는 상호전달콘덕턴스를 나타낸 것이다. 드레인전압은 드레인전류(I_D)가 포화영역에 속하는 5 V로 고정하여 측정하였다. 상호전달콘덕턴스의 최대값은 게이트 전압이 약 -3.8 V일 때 0.436 mS로 나타났고, 이를 단위 길이당 상호전달콘덕턴스로 환산하면 1.453 mS/mm이다. 그리고 게이트 전압이 -3.7 V일 때 펀치 오프가 일어나는 것을 알 수 있고, 게이트 전압이 양의 값인 4 V까지 드레인 전류에 대한 제어성을 유지함을 알 수 있다.



$V_G = 0 \sim -3.5\text{V, step} = -0.7\text{V}$
 $V_G = 0\text{V}$
(a)



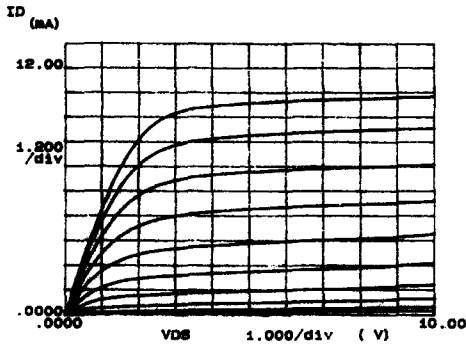
$V_{DS} = 5\text{V}$
(b)

그림 5. 채널의 도우핑 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이(L)가 10 μm , 폭(W)이 300 μm 인 GaAs MOSFET의 (a)전압-전류 특성 (b) 상호전달콘덕턴스 특성

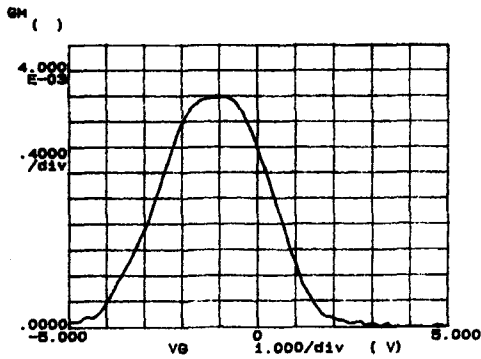
Fig. 5. (a) I-V characteristics and (b) transconductance of GaAs MOSFET of channel doping concentration of $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$, channel length of 10 μm , and channel width of 300 μm .

그림 6(a)과 (b)는 채널의 도우핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이(L)가 10 μm 이고 폭이(W)가 320 μm 인 GaAs MOSFET의 전압-전류특성 및 상호전달콘덕턴스를 나타낸 것이다. 드레인전압(V_{DS})은 0 V에서 10 V까지 인가되었고, 게이트 전압은 0 V에서 -4.5 V까지 -0.5 V의 간격으로 인가하였다. 게이트 전압이 -4.5 V에서 채널이 완전히 공핍됨을 알 수 있다. 그리고 게이트 전압이 0 V일 때 포화영역의 드레인 전류(I_{DSS})는 약 10.5 mA 정도였다. 그림 6(b)는 상호전달콘덕턴스를 나타

낸 것이다. 상호전달컨덕턴스의 최대값은 게이트 전압이 -1 V일때 3.6 mS로 나타났고 이를 단위 길이당 상호전달컨덕턴스로 환산하면 11.25 mS/mm가 되고 그림 5의 경우에 비해 채널층의 농도가 증가할 경우 드레인 포화전류 및 단위길이당 상호전달컨덕턴스의 값이 증가함을 알 수 있다. 그림 7은 채널의 도우핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 인 GaAs MOSFET의 게이트의 길이와 넓이의 비에 따른 드레인 포화전류에 관한 그래프이다. W/L의 비가 클수록 드레인 포화전류가 증가함을 나타내었다.



$V_G = 0 \sim -4.5\text{V}, \text{step} = -0.5\text{V}$
 $V_G = 0\text{V}$
 (a)



$V_{DS} = 5\text{V}$
 (b)

그림 6. 채널의 도우핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이(L)가 $10 \mu\text{m}$, 폭(W)이 $320 \mu\text{m}$ 인 GaAs MOSFET의 (a)전압-전류 특성 (b) 상호전달 컨덕턴스 특성

Fig. 6. (a) I-V characteristics and (b) transconductance of GaAs MOSFET of channel doping concentration of $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$, channel length of $10 \mu\text{m}$, and channel width of $320 \mu\text{m}$.

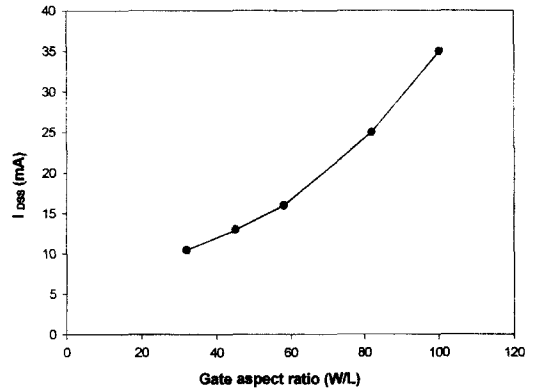
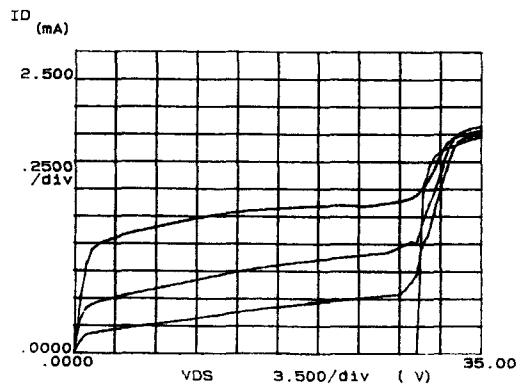


그림 7. 채널의 도핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 인 GaAs MOSFET의 게이트 외형비에 따른 I_{DSS} 의 그래프

Fig. 7. Plot of I_{DSS} of GaAs MOSFET as a function of gate aspect ratio for channel doping concentration of $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$.

그림 8은 채널의 도우핑 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이(L)가 $10 \mu\text{m}$ 이고 넓이(W)가 $320 \mu\text{m}$ 인 GaAs MOSFET의 드레인 항복전압 특성을 나타낸 것이다. 드레인 전압을 0 V에서 35 V까지 인가하였고 게이트 전압은 0V에서 -3 V까지 -1 V씩 증가시키면서 인가하였다. 드레인 항복현상은 인가된 게이트 전압에 따라 약간의 차이는 있으나 대부분 약 30 V부근에서 일어남을 알 수 있다. 이는 기존의 MESFET에 비하여 높은 드레인 항복전압 특성임을 알 수 있다^[5].



$V_G = 0 \sim -3\text{V}, \text{step} = -1\text{V}$

그림 8. 제조된 GaAs MOSFET의 드레인 항복 전압 특성.

Fig. 8. Drain breakdown voltage characteristics of fabricated GaAs MOSFET.

IV. 결 론

본 연구에서는 AlAs층을 선택적으로 습식산화시켜 형성된 Al₂O₃ 절연막을 게이트 절연막으로 이용하여 공핍형 n-채널 GaAs MOSFET를 제조하였다. GaAs MOSFET를 제작하기 전에 MBE법으로 성장된 시편의 전자의 이동도를 측정하기 위하여 Hall 측정을 행하였다. 채널층의 도우핑 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 와 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 인 시편의 300K의 온도에서 전자의 이동도는 각각 2970 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 와 2280 $\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 였다. 또한 Al₂O₃의 절연과 퍼 전압특성을 GaAs MOS-capacitor를 제작하여 측정하였다. 측정된 절연막의 절연과 퍼 전압은 55.7 V였고 이 때의 전류는 4.04 nA였으며, Al₂O₃ 절연막의 단위 길이당 절연막에 형성되는 전계는 11.14 MV/cm였다. 그리고 채널층의 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 와 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 인 두 종류의 GaAs MOSFET를 제조하여 전압-전류 특성, 상호전달컨덕턴스 특성 및 드레인 항복전압 특성을 측정하였다. 채널의 도우핑 농도가 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 크기가 $10 \times 300 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 경우 게이트 전압이 0 V일 때 드레인에 흐르는 최대 전류는 약 1 mA이고 게이트 전압이 -3.5 V일 때 채널의 공핍이 일어났고 단위 길이당 상호전달컨덕턴스는 1.453 mS/mm로 나타났다. 그리고 채널의 도우핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 게이트의 크기가 $10 \times 320 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 경우 게이트 전압이 0 V일 때 드레인에 흐르는 최대 전류는 약 10 mA정도였고 게이트 전압이 -4.5 V일 때 채널의 공핍현상이 일어났고 단위길이당 상호전달컨덕턴스는 11.25 mS/mm로 나타났다. 채널의 도우핑 농도가 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 이고 채널의 길이가 10 μm 이고 채널의 폭이 320 μm 인 GaAs MOSFET의 드레인 항복전압은 약 30 V로 나타났다.

AlAs를 습식산화를 통하여 형성된 Al₂O₃를 게이트 절연막으로 사용하여 공핍형 n-채널GaAs MOSFET를 제작할 경우, 기존에 제조된 GaAs MOSFET보다 안정한 전압-전류 특성과 높은 상호전달컨덕턴스 특성, 그리고 드레인 항복전압 특성을 나타내었다. 그리고 enhancement-mode GaAs MOSFET의 개발을 통하여 이와의 결합으로 CMOS를 통한 GaAs 집적회로의 실용화가 이루어질 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] J. Ruch and W. Fawcett, "Temperature dependence of the transport properties of GaAs determined by a Monte Carlo method," J. Appl. Phys. Vol. 41, pp. 3843-3849, 1979.
- [2] V. A. Wilkinson and A. R. Adams, in Properties of Gallium Arsenide, edited by M.R. Brozel, G.E. Stillman (INSPEC London 1988) p. 151.
- [3] T. M. Barton and P. H. Ladbrooke, "Dependence of maximum gate-drain potential in GaAs MESFET's upon localized surface charge," IEEE Electron Device Letters, Vol. EDL-6, No. 3, pp.117-119 1985.
- [4] P. Ho, P. C. Chao et al., "Extremely high gain, low-noise InAlAs/InGaAs HEMT's grown by molecular beam epitaxy, IEEE IEDM Tech. Digest, pp. 184-189, 1988.
- [5] G. L. Ng, D. Pavlidis, M. Jaffe, J. Singh, and H. F. Chan, "Design and experimental characteristics of strained In_{0.52}Al_{0.48}As/In_xGa_{1-x}As x>0.53 HEMT's," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-36, pp. 2249-2259, 1989.
- [6] H. T. Mindern, "Thermal oxidation of GaAs", J. Electrochem. Soc., Vol. 109, pp.733-736, 1962.
- [7] C. W. Wilmsen, "Oxidation of GaAs", Gallium Arsenide Technology, Volume 2", Chap. 8. pp.349-371, Howard W. Sams & Company. 1989.
- [8] J. A. Cooper, E. R. Ward, and R. J. Schwartz, "Surface states and insulator traps at the Si₃N₄-GaAs interface" Solid-State Electron, Vol. 15, pp. 1219-1227, 1972.
- [9] F. Bartels, L. Surkamp, H. J. Clemens, and W. Monch, "Oxygen and hydrogen adsorption on GaAs(110)", J. Vac. SCI. Technol. B, Vol. 1, No.3, pp. 756-762, 1983.
- [10] J. M. Dallessase, et. al., "Hydrolyzation oxidation of Al_xGa_{1-x}/AlAs/GaAs quantum well heterostructure and supper lattices", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 26, 1990.
- [11] Y. S. Lee, Y. H. Lee and J. H. Lee, "Wet oxidation of AlAs grown by molecular beam

epitaxy" Appl. Phys. Lett. Vol. 65, No. 21, pp. 2717-2719, 1994.

[12] P. A. Parikh, S. S. Shi, J. Ibbettson, E. L. Hu and U. K. Mishra "Hydrogenation of GaAs MISFETs with Al₂O₃ as gate insulator", Electronic Letters 29th August 1996 vol.32, No.18 pp.1724-1725.

[13] M. Heiblum, M. I. Nathan and C. A. Chang, "Charateristics of AuGeNi Ohmic contacts to GaAs" Solid-State Electronics Vol. 25, No. 3, pp. 185, 1982.

[14] E. H. Nicollian and J. R. Brews, in MOS(Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology (Bell Laboratories Murray Hill, New Jersey pp.380, 1982.

[15] L. W. Yin, Y. Hwang, J. H. Lee, R. M. Kolbas, R. J. Trew, and U. K. Misgara, "Improved Breakdown voltage in GaAs MESFETs utilizing surface layers of GaAs grown at a low temperature by MBE", IEEE Electron Device Lett. Vol.12, pp.561, 1990.

저 자 소 개



金本 謹(正會員)
 1969년 9월 12일생. 1992년 2월 경북대 전자공학과 졸업, 1994년 2월 경북대 대학원 전자공학과(공학석사), 1994년 3월~현재 경북대 공대 전자공학과 박사과정, 주관심분야 : GaAs계 화합물반도체 소자, 금속박

막 증착, 산화공정

李昔憲(正會員) 第 35卷 D編 第 8號 參照
 현재 경북대학교 전자전기공학부 박사과정

李正熙(正會員) 第 32卷 A編 第 11號 參照
 현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수

李龍鉉(正會員) 第 31卷 A編 第 8號 參照
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수