

SF₆ 플라즈마 방전을 이용한 GaAs-MIS 커패시터의 제작 및 특성

Fabrication and Properties of GaAs-MIS Capacitor using SF₆ Plasma Discharge

이남열, 정순원, 김광호*

(Nam-Yeal Lee, Soon-Won Jung, Kwang-Ho Kim)

청주대학교 전자공학과

청주대학교 전자·정보통신·반도체 공학부*

(Dept. of Electronic Eng. Cheongju University)

(School of Electronic · Computer & Communication · Semiconductor Eng. Cheongju University)*

Abstract

GaF₃ films were directly grown on p⁺ and p-type GaAs(100) substrates using a SF₆ plasma discharge system. GaAs MIS(Metal-Insulator-Semiconductor) capacitor was successfully fabricated for about 1 hour at temperature 290 °C using the as-grown GaF₃ films. The as-grown films on p⁺-GaAs exhibited a current density of less than 6.68×10^{-9} A/cm² at a breakdown field of 500 kV/cm and a refractive index of 2.0 ~ 2.3 at a wavelength of 632.8 nm. The dielectric constant was about 5 derived from 1 MHz capacitance-voltage (C-V) measurements. Dielectric dispersion of the fluoridated films on p⁺-GaAs measured ranged from 100 Hz to 10 MHz was not observed.

Key Words (중요용어) : SF₆ plasma(SF₆ 플라즈마), Fluoridation film(불화막), Fluoridation of GaAs surface(GaAs 표면의 불소화), SF₆ gas(SF₆ 가스), Gallium fluoride(갈륨 불화물), MIS structure(Metal-Insulator-Semiconductor 구조)

1. 서 론

최근에 고속-저전력-고주파 집적회로용 소지로서 GaAs를 이용한 금속-절연체-반도체 전계효과 트랜지스터(MISFET)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만 Si를 이용한 금속-산화막-반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET)의 특성에 비교될만한 GaAs-MISFET의 특성에 대한 보고는 많지 않다. 특히 GaAs 표면의 반전층을 이용한 소자의 보고는 거의 없는 상태이다.¹⁻³⁾ 이러한 문제를 해결하기 위해 다

양한 절연물을 사용한 연구가 진행되고 있다. 현재 GaAs기판 위에다 절연막을 형성시키는 방법으로 산화막, 질화막등을 증착시키는 법과 플라즈마와 전해액 등을 사용해서 GaAs 기판을 직접 산화하는 방법등의 다양한 방법들이 시도되고 있다. 그러나 이러한 대부분의 MIS 구조가 전기적, 화학적으로 안정하고 계면준위밀도가 적고 계면 전자 전도특성이 뛰어난 절연막을 얻기가 어려웠다. 이러한 GaAs-MISFET의 주된 방해요인은 GaAs 기판위에 절연막을 형성시켰을 때 절연막과 기판의 계면에

다량의 계면준위 밀도가 존재하여 반도체의 에너지 갭에서 페르미 준위를 고정시켜서 GaAs 표면에 반전층이 형성되지 않았기 때문이다.

본 논문에서는 SF₆ 가스를 이용한 플라즈마 불소화 방법으로 GaAs 표면을 불소화하여 박막을 얻는 새로운 방법을 제안하였다. 그리고 이 방법에 의한 박막형성 기구(수평형 SF₆ 플라즈마 불소화 실험장치)를 처음으로 제작하였다. 이 장치를 이용하여 GaAs-MIS 커패시터를 제작하였다. 이렇게 제작된 GaAs-MIS 커패시터를 HP 4145B와 4192A를 사용하여 여러 전기적 특성을 평가하였다. 그 결과를 논하고자 한다.

2. 실험 및 결과

2.1 실험방법

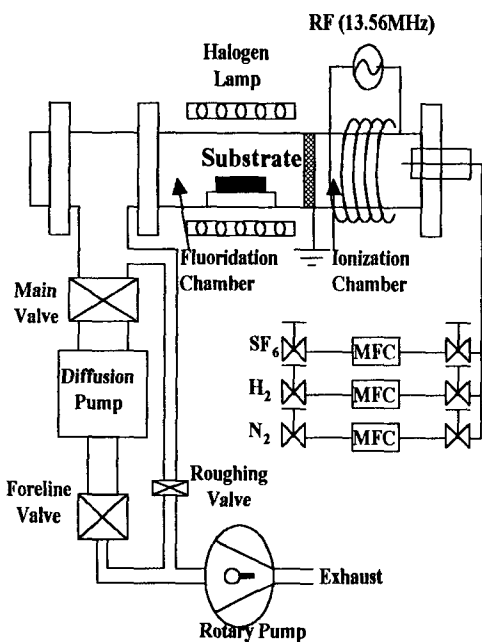


그림 1. 수평형 원격 SF₆ 플라즈마 불소화 실험 장치의 블록도.

Fig. 1. Schematic diagram of parallel-type experimental apparatus for remote SF₆ plasma fluorination.

그림 1은 본 연구실에서 자체 제작한 수평형 SF₆ 플라즈마 불소화 실험장치의 블록도이다. 이 장치에서 그림에서 보이는 바와 같이 GaAs 기판 표면 자체를 불소화하여 GaF₃ 박막을 형성시키는 반응영역과 SF₆ 가스를 13.56 MHz의 RF로 유도적으로 플라즈마화하는 원격 이온화실로 구성되어 있다.⁴⁾ 할로젠 램프를 Quart tube의 외부에 설치하여 기판을 가열할 수 있도록 했다. 그리고 시스템내의 잔류가스를 최소화 하고 기판의 오염을 줄이기 위해서 확산펌프를 이용하여 진공도를 1×10⁻⁶ torr 이하까지 뽑아 낼 수 있게 했다. 실험에 사용된 SF₆ 가스는 순도가 99.998%의 고순도 가스를 사용하였으며, 유량조절기(MFC)를 사용하여 가스량을 정확하게 조절하였다.

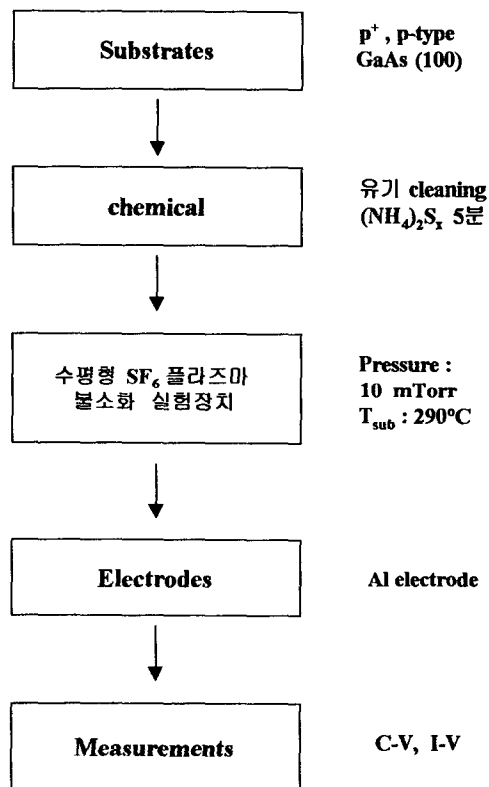


그림 2. 실험 순서도

Fig. 2. Flow chart of the experiment.

그림 2는 GaAs-MIS 커패시터의 제작 순서도를 나타낸 것이다. 막의 비유전율을 산출하고 박막의 유전분산특성을 평가하기 위해 고농도로 도핑된 p'

-GaAs(100) 사용하였다. 먼저 유기 세정 법으로 GaAs 웨이퍼를 세척한 후 황화암모늄 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ 용액에 5분간 담구어 표면을 황으로 Passivation⁵⁾ 시켰다. 이렇게 표면 처리한 기판을 SF_6 플라즈마 실험장치에 넣어서 진공을 뽑고, 290℃로 가열한 후 SF_6 가스를 10 sccm으로 흘려주었다. 반응로 내의 압력은 100 mtorr로 고정하였다. 이렇게 반응로의 압력과 온도가 안정화가 되면, 원격 이온화실에서 13.56MHz의 RF 전력을 100W로 하여 SF_6 가스를 플라즈마화 하면서 290℃에서 1시간동안 기판 표면을 불소화하였다. 진극은 열적 증착기(Thermal Evaporator)를 사용하여 Al을 증착하였고 계면 특성을 좋게하기 위해서 350℃에서 10분간 annealing 하였다.

실험으로 제작한 GaAs-MIS 커패시터를 623.8 nm의 파장을 갖는 ellipsometer를 사용하여 막의 두께와 굴절률을 측정하였고, 전기적 특성을 평가하기 위해 전류-전압(I-V) 및 용량-전압 (C-V) 특성을 측정하였다.

2.2 MIS capacitor의 특성

그림 3은 기판온도에 따른 불소화막의 두께 의존성을 나타낸다. 불소화 시간은 60분으로 고정하여 평가하였다. 그림에서 보면 알 수 있는 것처럼, 온

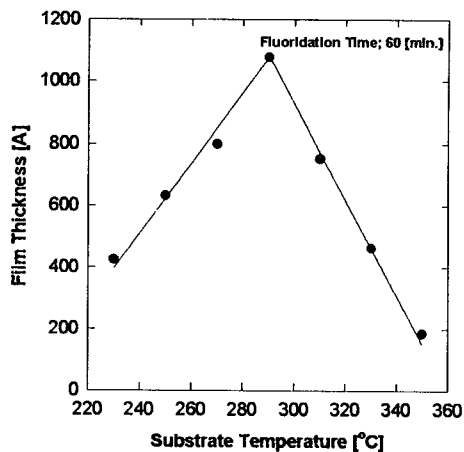


그림 3. 기판온도에 따른 불소화막의 두께 의존성.

Fig. 3. Fluoridated thin film thickness as a function of substrate temperature.

도가 증가함에 따라 막의 두께가 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 290℃부근에서 막 두께는 최대이고 이후에 온도가 증가함에 따라 오히려 막의 두께는 감소함을 알 수 있다. 이 현상은 온도가 약 300℃부터 GaAs 표면에서 As가 해리하기 시작하는 것과 관련⁶⁾이 있다고 판단하고 있다.

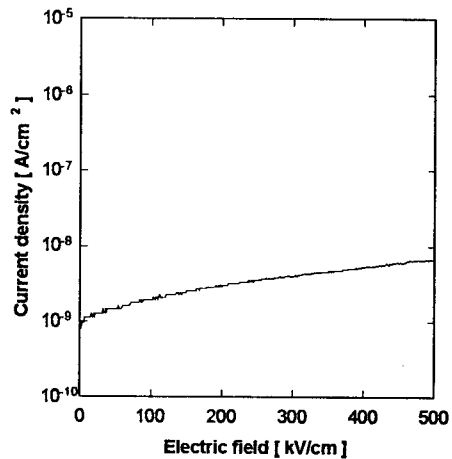


그림 4. p^+ -GaAs(100) 기판을 불소화시킨 막을 갖는 MIS구조에 대한 누설전류의 전계 의존성.

Fig. 4. Leak current density dependence of a p^+ GaAs(100)-MIS capacitor.

그림 4는 p^+ -GaAs(100) 기판으로 제작한 MIS 커패시터에 대한 누설전류의 전계 의존성을 보인다. MIS 커패시터를 제작할 때의 조건으로 유량을 10 sccm, 압력은 100 mtorr로 고정하였고, RF 전력은 100 W로 하여 290℃에서 1시간 불소화 막을 증착시켰다. 형성시킨 불소화막의 누설전류는 500 kV/cm의 전계에서 6.68×10^{-9} A/cm² 이하였으며, 이 전계값에서의 막의 저항율은 7.5×10^{13} $\Omega \cdot \text{cm}$ 이었다. 그리고 MIS 구조의 C-V특성으로부터 계산한 막의 비유전율은 약 5이였으며, 막의 굴절율은 2.0 ~ 2.3이였다.

그림 5는 p^+ -GaAs(100) 기판으로 제작한 MIS 커패시터의 막의 유전분산이다. 실온에서 100Hz ~ 10MHz 범위에서 측정하였는데 그림에서 알 수 있듯이 이 주파수 범위 내에서 막의 비유전율 변화,

즉, 유전 분산은 관측되지 않았다. 현재 이 방법으로 제작한 GaAs-MIS 커패시터의 계면 특성은 평가 중에 있다.

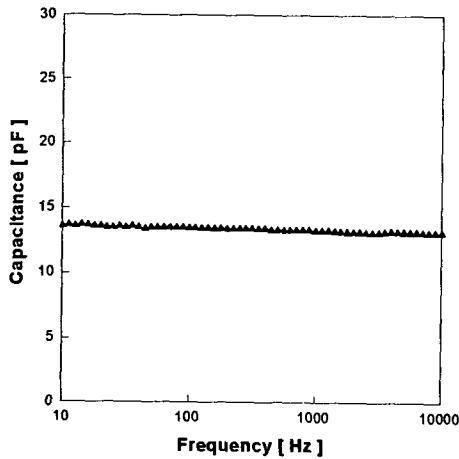


그림 5. p^+ -GaAs(100) 기판으로 제작한 MIS 커패시터의 비유전율 변화

Fig. 5. Dielectric dispersion variation of a p^+ GaAs(100)-MIS capacitor.

3. 결 론

SF₆ 플라즈마 방전을 이용하여 GaAs(100) 표면을 불소화하여 GaF₃ 박막을 얻는 새로운 방법을 제안하였으며, 수평형 SF₆ 플라즈마 불소화 실험장치로 GaAs-MIS 커패시터를 제작하여 특성을 평가하였다. 온도에 따른 불소화막의 증가율을 평가한 결과 온도가 증가함에 따라 불소화막의 두께도 증가함을 알 수 있었고, 290 °C 부근에서 최대로 된 다음, 이후에는 막의 두께가 감소되는 현상이 관측되었다. 이 현상의 원인은 GaAs의 표면에서 As가 해리하기 시작하는 것과 관련이 있다고 판단되어진다. p^+ GaAs(100)-MIS 커패시터의 누설전류는 500 kV/cm의 전계에서 6.68×10^{-9} A/cm² 이하였으며, 이 전계값에서의 막의 저항율은 7.5×10^{13} Ω·cm 이었다. 또한, C-V 특성으로부터 산출한 막의 비유전율은 약 5이었으며, 막의 굴절율은 2.0 ~ 2.3이었다. 그리고 100 Hz ~ 10 MHz 범위 내에서의 막의 비유전율 변화(유전분산)를 측정하였는데, 유전분산은 관측되지 않았다.

감사의 글

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. T. Ito and Y. Sakai, "The GaAs Inversion-type MIS Transistors", *Solid-State Electronics*, vol. 17, pp. 751-759, 1974.
2. K.-H. Kim, H. Ishiwara, T. Asano and S. Furukawa, "Improvement of the Interface Properties of Fluoride/GaAs(100) Structures by Postgrowth Annealing", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 27, pp. L2180-L2182, 1988.
3. M. Passlack, M. Hong, J. P. Mannaerts, S. N. G. Chu, R. L. Opila and N. Moriya, "In-Situ Ga₂O₃ Process for GaAs Inversion/Accumulation Device and Surface Passivation Applications", *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Tech. Dig.*, pp. 383-386, 1995.
4. K.-H. Kim "Fluoridation of GaAs Surface using Remote SF₆ Plasma Discharge and its MIS Properties" *Journal of Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*. Vol. 12 No, 7, pp, 481-485, 1999
5. J.-F. Fan, H. Oigawa and Y. Nannichi, "The Effect of (NH₄)₂S Treatment of the Interface Characteristics of GaAs MIS Structures", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 27, no. 7, pp. L1331-1333, 1988.
6. R. Z. Bachrach, R. S. Bauer, P. Chiaradia and G. V. Hansson, "Surface phases of GaAs(100) and AlAs(100)", *J. Vac. Sci. & Technol.*, vol. 18, no. 3, pp. 797-801, 1981.