

PECVD를 이용한 Si₃N₄ 박막의 공정 변수에 따른 특성 분석과 응용

신재완, 이복형, 이성대, 이일형, 윤관기, 전병철, 양성환, 이호준, 이진구
 동국대학교 전자공학과 반도체 및 집적회로 연구실
 E-mail : jkrhee@cakra.dongguk.ac.kr

Analyses of Si₃N₄ thin film as parameters of the processes using PECVD for MMIC applications

J.W. Shin, B.H. Lee, S.D. Lee, I.H. Lee, K.K. Youn, B.C. Chun,
 S.H. Yang, H.J. Lee and J.K. Rhee
 S & IC Lab., Dept. of Elec. Eng., Dongguk Univ.

Abstract

In this paper, we have studied the role of sources gases, SiH₄, NH₃ and N₂, to produce Si-N and Si-H bond in PECVD. The correlations of a deposition rate, a refractive index and a permittivity were investigated with the NH₃ flow rate of 6, 9 and 12 sccm, and SiH₄ flow rate of 20, 30 and 40 sccm, and substrate temperature of 150, 250 and 350 °C. But the N₂ flow rate and chamber pressure were fixed at 55 sccm and 700 mTorr. And then MIM capacitors were fabricated and tested for MMIC applications.

1. 서 론

PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)는 저온(<400 °C)에서 박막의 성장이 가능하기 때문에 저온 공정을 요구하는 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits)공정에서 MIM(Metal Insulator Metal) 캐패시터의 및 passivation 층 형성을 위해 널리 사용되고 있다. 특히, Si₃N₄는 SiO₂보다 diffusion barrier가 좋고, 유전상수가 높아 마이크로웨이브 대역의 MMIC를 위한 주된 절연 박막으로 이용되고 있다.[1-2]

본 논문에서는 MMIC 응용을 위해 PECVD의 공정 조건을 변화시키면서 Si₃N₄를 적층한

후 공정 조건에 따른 적층율, 굴절율, 비유전율, 항복전압 등의 특성을 비교 분석하였다. 공정 변수로는 SiH₄ 및 NH₃의 Gas flow rate와 기판 온도를 변화시켰으며, MIM 캐패시터를 제작한 후 45 MHz-40 GHz 까지 주파수 특성을 측정·분석하여 MMIC 응용 가능성을 평가하였다.

2. PECVD Si₃N₄막 성장 실험

그림 1은 본 논문에서 사용한 PECVD의 block diagram으로 SiH₄, NH₃ 및 N₂가스가 MFC로 설정된 일정량이 chamber 내로 유입되며, GaAs 기판의 온도와 플라즈마로부터 기판의 거리를 조절할 수 있도록 제작된 장치를 이용하였다.

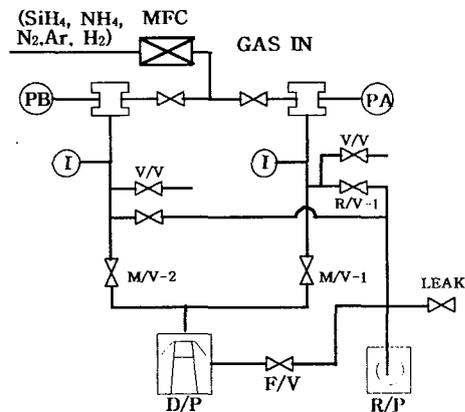


그림 1. 실험에 사용된 PECVD의 개략도

표 1 은 PECVD의 공정변수가 절연 박막의 특성 변화에 미치는 영향을 요약한 것이다.

표 1. 공정 변수에 따른 박막특성 변화[3]

Parameter	박막에 미치는 영향
Reaction gas composition	Film stoichiometry (refractive index)
Total gas flow	Deposition rate, Uniformity
Chamber pressure	Deposition rate, Uniformity
R.F. power	Deposition rate, Deposition rate, uniformity, Film stress
Platen temperature	Refractive index, Film stress
R.F. frequency	Deposition rate, Deposition rate, Uniformity, Stoichiometry, Hydrogen content

본 논문에서는 사용된 Gas source는 SiH₄, NH₃ 및 N₂이며, 플라즈마 생성 주파수는 13.56 MHz 및 250 W급의 RF generator를 이용하였으며, chamber 압력은 700 mtorr가 되도록 하였다. 표 2는 본 논문에서 사용된 공정 변수를 나타낸 것으로 사전 실험을 통해 박막특성에 큰 영향을 미치는 SiH₄ 및 NH₃ 가스의 유량과 GaAs 기판의 온도를 변화시켰으며, 나머지 공정 변수는 표 2에 나타낸 값으로 고정하였다.

표 2. 실험에 사용된 PECVD 공정 변수

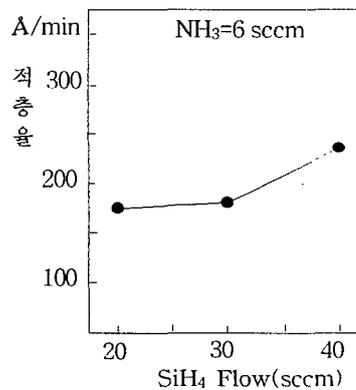
Gas	SiH ₄	NH ₃	N ₂
Flow rate (sccm)	20-40	6-12	55
Substrate Temp.(°C)	150-350		
Electrode distance(cm)	7		
Pressure(mtorr)	700		
Rf Power(W)	50		

3. 특성 측정 및 분석

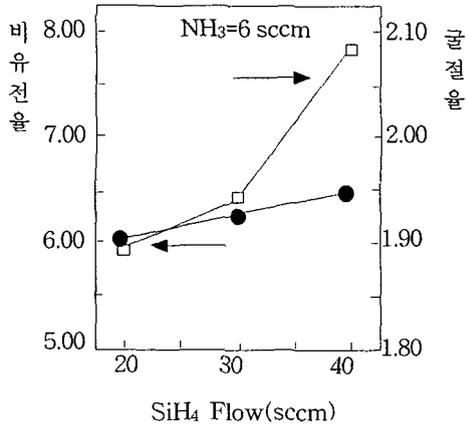
상기의 PECVD 장비 및 공정 변수를 이용해 성장된 Si₃N₄ 박막의 두께와 굴절률을 파장이 6,328 Å인 Ellipsometer (L117, Gaertner)와 Alpha-Step(TENCOR Instruments)을 이용하여 측정하였으며, HP4156A를 이용하여 박막의 항복 전압을 측정하였다. 특히, 절연 박막의 비유전율은 MMIC 공정을 이용하여 MIM 캐패시터를 제작하여, HP8510C로 S-파라미터를 측정(45 MHz~40 GHz)한 후 MIM 캐패시터의 등가회로부터 추출하였다.

그림 2는 NH₃ Gas의 유량을 6 sccm, N₂의 유량을 55 sccm, RF power 50 W, 기판 온도 250°C 및 electrode 간격을 7 cm로 고정하고, SiH₄ Gas의 유량을 20 sccm에서 40 sccm까지 변화시키면서 성장된 박막의 특성으로 SiH₄ 가스의 유량이 증가함에 따라 적층율은 183 A/min에서 230 A/min으로, 굴절률은 1.89에서 2.08로, 비유전율은 6.01에서 6.49로 증가하였다. 그림 3은 SiH₄ 을 30 sccm 고정하고 NH₃의 유량을 변화시키면서 측정된 결과로 NH₃의 유량이 증가함에 따라 적층율은 160 A/min에서 191 A/min으로 증가하지만 굴절률은 1.9에서 1.7로, 비유전율은 6.27에서 5.46으로 감소하였다. 그림 4는 온도에 따른 특성 변화로 SiH₄ = 30 sccm 및 NH₃ = 6 sccm로 고정하였다. 온도가 150°C에서 350°C로 증가함에 따라 250°C에서 비유전을 및 굴절률은 최대치 및 최소치를 나타내었다.

그림 5는 두께 2,000 Å의 Si₃N₄ 박막의 항복 전압 특성을 나타낸 것으로 50 μA 전류가 흐르는 전압은 136 V로 6.8×10⁶ V/cm이다. 그림 6은 두께 2,000 Å의 Si₃N₄를 이용하여 제작된 MIM 캐패시터중에서 크기가 75 μm²인 캐패시터의 주파수 특성을 나타낸 것이고, 그림 7은 제작된 MIM 캐패시터를 등가회로부터 추출하여 얻어낸 캐패시턴스이다. 이때, 측정 및 추출에 사용한 주파수 범위는 45 MHz-40 GHz 이다. 그림 7로부터 제작된 MIM 캐패시터는 면적이 25 μm²에서 400 μm²로 증가함에 따라 0.1 pF에서 38.5 pF으로 일정하게 증가함을 알 수 있다.

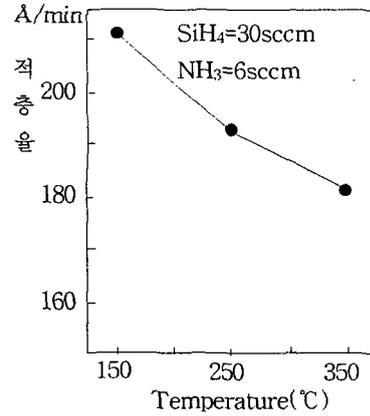


(a) 적층율

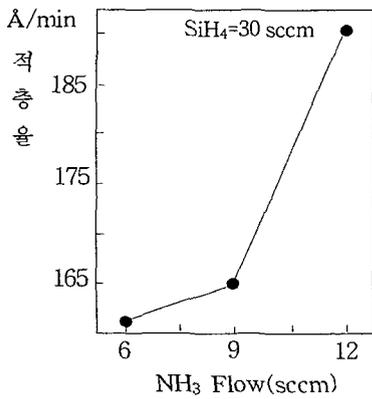


(b) 비유전율과 굴절률

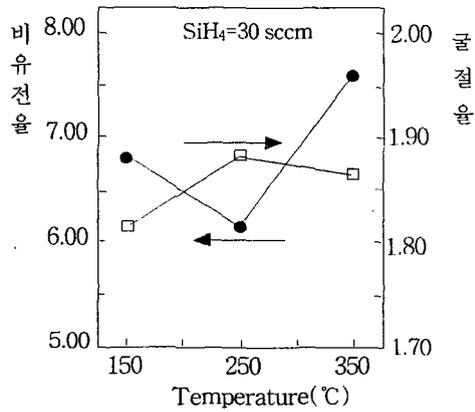
그림 2. Si_3N_4 Gas 유량에 따른 특성



(a) 적층율

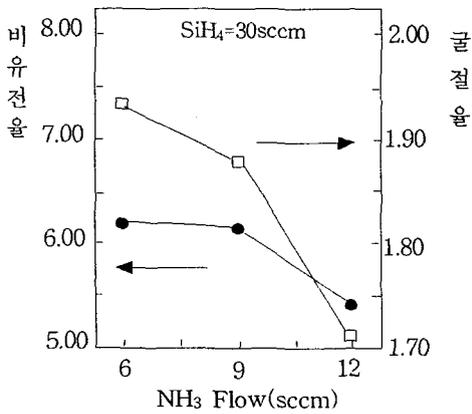


(a) 적층율



(b) 비유전율 및 굴절률

그림 4. 온도에 따른 특성 변화



(b) 비유전율 및 굴절률

그림 3. NH_3 Gas 유량에 따른 특성 변화

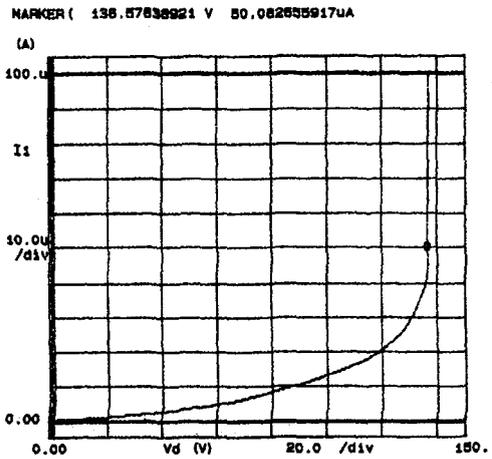


그림 5. 두께 2,000 Å인 Si_3N_4 박막의
항복 전압 특성

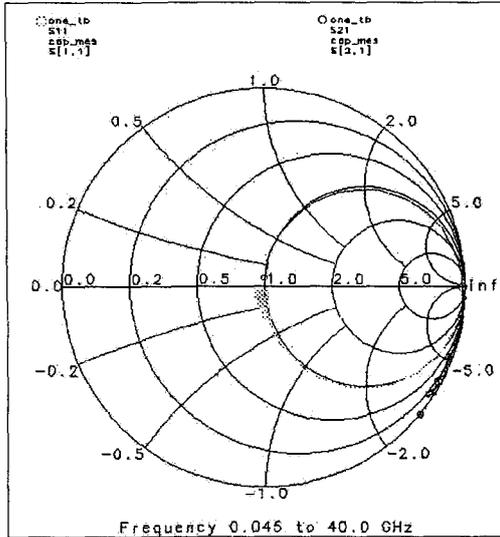


그림 6. 75 μm²의 MIM 캐패시터의 주파수 특성

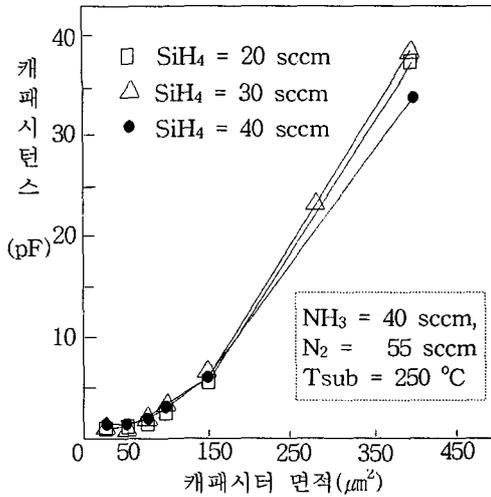


그림 7. 제작된 MIM 캐패시터의 면적에 따른 캐패시턴스

4. 결 론

본 논문에서는 PECVD의 공정 조건 변화에 따른 Si₃N₄박막의 적층율, 굴절률, 비유전율, 항복전압 등에 대한 특성을 비교 분석하였다.

실험 결과, SiH₄ Gas의 유량이 20 sccm에서 40 sccm까지 증가될 경우 적층율은 183 A/min에서 230 A/min으로, 굴절률은 1.89에서 2.08로, 비유전율은 6.01에서 6.49로 증가하였고, NH₃의 유량이 증가될 경우 적층율은 160 A/min에서 191 A/min으로 증가하지만 굴절률은 1.9에서 1.7로, 비유전율은 6.27에서 5.46으로 감소하였다. 온도에 따른 실험 결과, 150 °C에서 350 °C로 증가함에 따라 250 °C에서 비유전율 및 굴절률은 최대치 및 최소치를 나타내었다. 또한 적층된 두께 2,000 Å의 Si₃N₄ 박막의 항복전압을 측정된 결과 6.8×10⁶ V/cm를 얻었다. 마지막으로 두께 2,000 Å의 Si₃N₄를 이용하여 MIM 캐패시터를 제작하였으며 제작된 MIM 캐패시터로부터 0.1-38.5 pF의 캐패시턴스를 얻을 수 있었다. 본 논문의 실험 및 분석된 데이터는 40 GHz 정도의 마이크로웨이브 대역의 MMIC 회로 제작에 직접 응용가능할 것으로 판단된다.

參 考 文 獻

- [1] D.W. Hess, "Plasma-enhanced: oxides, nitrides, transition metals, and transition metal silicides," J.Vac.Sci.Tech., A2, pp.244-252, Apr./Jun.1984.
- [2] C.M.M. Denisse, et al, "plasma-enhanced growth and composition of silicon oxynitride film," J. Appl. phys., 60, 7, pp.2536-2542, Oct.1986.
- [3] 김남준 외 2명, "Si 및 InP 위에 PECVD법에 의한 Si₃N₄의 증착", 현대전자산업(주) 반도체연구소 광소자개발실 연구보고서, 1995.