

## MMIC Capacitor를 위한 PECVD Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막에 관한 연구

성호근, 송민중\*, 김용갑\*\*, 박춘배\*\*

원광대학교 석사과정, 광주보건대학 교수\*, 원광대학교 교수\*\*

### A Study on the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Thin Films Deposited by PECVD for MMIC Capacitor

Ho-Kun Sung, Min-Jong Song\*, Young-Gab Kim\*\* and Choon-Bae Park\*\*

WonKwang Uni., KwangJu Health Coll., WonKwang Uni.\*\*

#### Abstract

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> thin film is the good material to fabricate the capacitors at MMIC processes. Normally, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> thin films is used to dielectric in the MIM capacitor and film thickness is 2000Å. Insulator(or dielectric) was deposited by PECVD at our MIM structure with air bridge which connect between top metal and contact pad. We optimized PECVD process to fabricate the good capacitors which can be applied at the true MMIC. The thickness of our Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> thin films was 1000Å shallower than 2000Å, and their breakdown voltages were above 70V.

**Key Words** : Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, MIM capacitor, PECVD, MMIC

#### 1. 서 론

반도체소자 제조기술의 급격한 발달과 함께 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)로 대표되는 고주파 전자회로 및 부품에 대한 미세화, 고집적화의 요구가 증대됨에 따라 보다 우수한 전기적, 구조적 특성을 갖는 박막콘덴서에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

일반적으로 MMIC에서 고용량의 콘덴서를 제작하기 위해 다음과 같은 두가지 방법이 이용된다. (1) layout 상에서 넓은 면적의 콘덴서를 제작함으로써 정전용량을 높인다. (2) 유전율이 SiO<sub>2</sub>나 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 보다 높은 TaO<sub>x</sub> 등의 박막을 증착함으로써 같은 면적에서 높은 정전용량을 갖도록 한다. 전자의 경우, layout 상의 면적이 커지게 되면 직접화에서 불리하여 전체체적인 칩의 크기와 단가 상승의 원인이 된다. 후자의 경우, TaO<sub>x</sub> 등의 산화물 유전 박막은 SiO<sub>2</sub>나 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>에 비해 실제 산업체 공정 라인에서 보편화되지 않았으며 아직 양산화하기에는 부분적인 문제를 안고 있다.

따라서 본 논문에서는 위의 두 문제를 동시에 해결하기 위해, SiO<sub>2</sub>보다 유전율이 높은 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>을 MIM 구조에서 I(Insulator) 재료로 선정하였으며,

일반적인 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 두께인 2000Å보다 얇은 1000Å으로 제작하였다. 이렇게 얇은 유전체를 갖은 MIM 콘덴서는 breakdown 전압이 낮다는 단점을 갖는데 PECVD 공정을 최적화함으로써 70V 이상의 Air bridge를 갖는 우수한 콘덴서를 제작하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1 MIM 콘덴서 제작

Air bridge를 갖는 MIM 콘덴서 제작을 위한 공정 순서 및 조건이 그림 1.에 정리되었다. 기판은 n-type GaAs를 사용하였으며 기판과 하부 전극의 전극을 절연시키기 위해 먼저 1차 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막을 1000Å으로 증착 하였다. 하부 전극이 놓일 부분을 사진식각공정을 이용하여 오픈한 후, DC 스퍼터링을 이용하여 Au 도금시 seed metal로 Ti/TiW/Au를 증착하였다. 1차 도금 공정으로 하부전극을 만들고 MIM 구조에서 유전체인 2차 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막이 PECVD에 의해 증착되었다. 이때 높은 절연강도와 고용량의 콘덴서를 제작하기 위해 가스 유량, 압력, RF power 등을 변화시켰다. 유전층을 증착한 후, 사진식각공정, DC 스퍼터링을 이용한 seed

metal 증착, 그리고 도금 공정을 이용하여 상부전극과 Air bridge를 제작하였다. 이렇게 제작된 MIM 콘덴서는 600pF/mm<sup>2</sup>을 유지하도록 하였다.

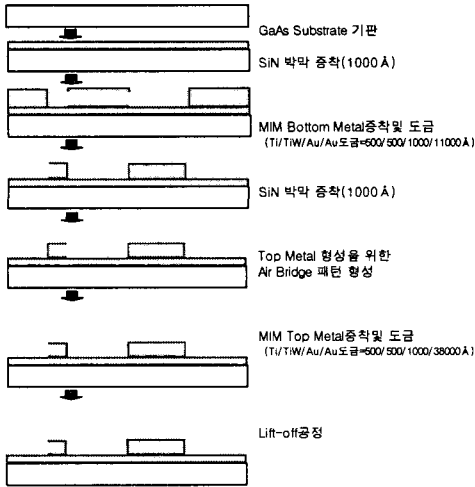


그림 1. MIM 콘덴서 공정 흐름도.

### 2.2 특성 분석

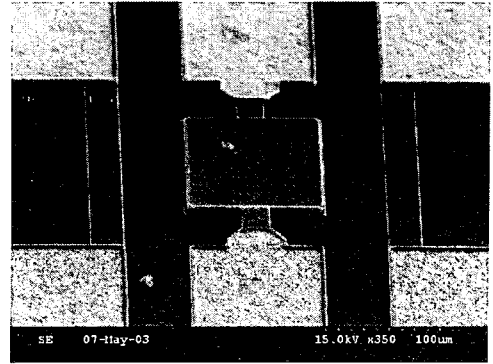
MIM 콘덴서에서 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막은 PECVD를 이용하여 가스유량, RF power, 압력을 변화시키면서 박막의 증착 비율을 확인하였으며, 각각에 대한 굴절율과 에칭비율은 엘립소메터와 BOE(6:1)로 측정하였다.

절연강도, 유전율, 주파수 특성은 각각 HP4156B, HP4284A, HP8722ES를 이용하여 MMIC 내에서 MIM 콘덴서로 활용 가능함을 확인하였다.

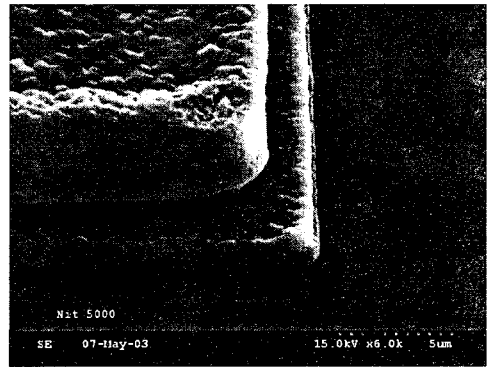
### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 본 연구에서 제작된 MIM 콘덴서의 평면과 단면 사진을 보여준다. 제작된 콘덴서의 상부전극은 100 μm × 100 μm 크기로 하였다.

일반적으로 PECVD를 이용하여 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막을 증착하는 경우 박막내에 존재하는 수소함유량은 박막의 전기적 성질과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다. 또한 박막내의 수소함량이 적을수록 박막의 항복전압 및 저항특성이 우수한 것으로 알려져 있다.[1] 따라서 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막내의 Si-H/N-H 결합비율은 Si<sub>3</sub>H<sub>4</sub>과 NH<sub>3</sub>가스의 혼합비에 의해 결정되고 이것은 박막의 굴절율을 결정하는 중요한 변수가 된다.



(a) 평면 SEM 사진.



(b) 단면 SEM 사진.

그림 2. MIM 콘덴서 평면(a) 및 단면(b) SEM 사진.

그림 3은 Si<sub>3</sub>H<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> 혼합비에 따른 박막의 특성 변화를 나타내는 그래프이다.

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>과 NH<sub>3</sub>의 가스 혼합비를 0.99부터 1.58까지 변화시켜준 결과 가스 혼합비가 증가함에 따라 굴절율이 증가하고 있는 것을 알 수 있었으며, 식각율은 감소하고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 가스 혼합비가 증가함에 따라 박막에서 과잉의 Si가 석출되어 높은 굴절율과 낮은 식각율을 나타낸다.[2] 증착율은 가스 혼합비에 따라 큰 변화를 나타내지 않았다.

그림 4는 증착 압력에 따른 박막의 특성 변화를 나타내는 그래프이다.

실험결과 증착 압력이 증가할수록 증착율과 식각율이 증가하고 있는 것을 알 수 있었으며 굴절율은 거의 변화가 없었다. 이는 증착 압력을 증가 시킴으로 인해 반응기체의 분자수가 증가하게 되

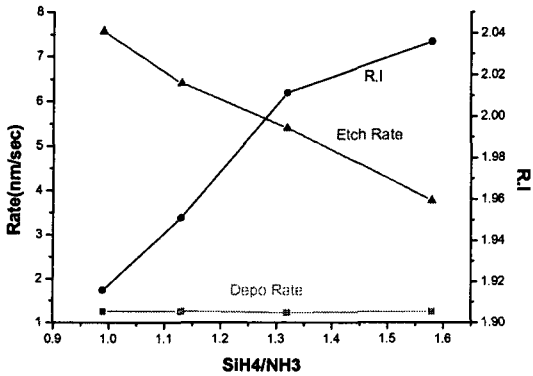


그림 3. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> 혼합비에 따른 박막특성 변화.

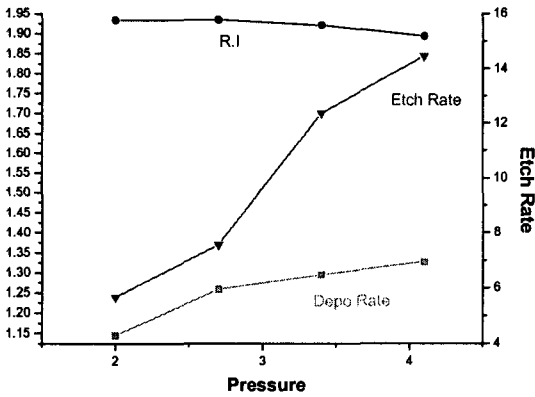


그림 4. 증착압력에 따른 박막특성 변화.

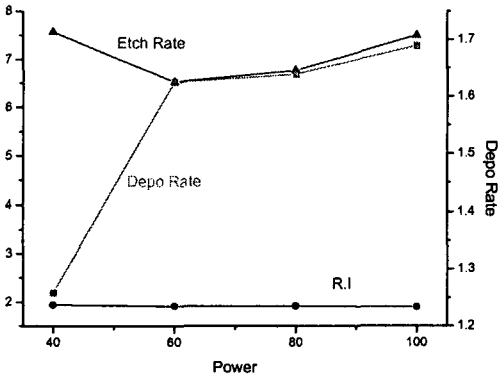


그림 5. RF Power에 따른 박막특성 변화.

고 그림으로 인해 반응속도가 증가하여 증착율이 증가하고 그에 따라 박막의 치밀도가 떨어져 식각을 또한 증가하게 된다.[3]

그림 5는 RF Power에 따른 박막특성 변화를 나타내는 그래프이다. 실험 결과 RF Power과 증

가함에 따라 증착율은 증가하는 반면, 다른 특성들은 뚜렷한 변화를 보이지 않음을 알 수 있었다.

이러한 실험결과를 가지고 MIM 콘덴서에서 사용하는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막의 3가지 조건을 설정하였고 그에 따른 콘덴서 특성을 관찰하였다.

표 1.은 각각의 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>에 대한 특성들을 나타내었다.

실험결과 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막을 같은 두께로 증착 하였을 경우 굴절율이 2.0일 때보다 1.9일 때 MIM 콘덴서의 Breakdown전압이 35V에서 52V로 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한 굴절율이 1.9일 때 증착율을 1.23(nm/s)에서 0.83(nm/s)으로 감소시킴에 따라 콘덴서의 Breakdown전압이 72V까지 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 MIM 콘덴서의 Breakdown전압이 Si<sub>3</sub>H<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>의 혼합

표 1. 조건별 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막 특성.

공정조건	1	2	3
가스혼합비	1.307	0.925	0.92
증착압력	2.7 Torr	2.7 Torr	1.3 Torr
RF Power	40 W	40 W	53 W
증착온도	300 ℃	300 ℃	300 ℃
박막특성	1	2	3
R.I	2.0	1.9	1.9
식각율	4.42(nm/s)	8.96(nm/s)	1.30(nm/s)
증착율	1.21(nm/s)	1.23(nm/s)	0.83(nm/s)

이렇게 선정된 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막을 이용하여 제작한 MIM 콘덴서에 대한 Breakdown 전압을 측정하였다.

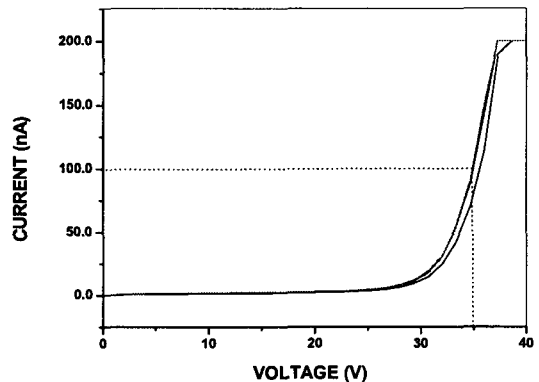


그림 6. 공정조건 1에 대한 Breakdown 전압.

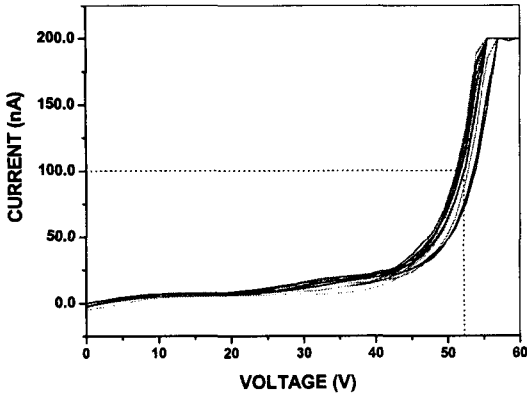


그림 7. 공정조건 2에 대한 Breakdown 전압.

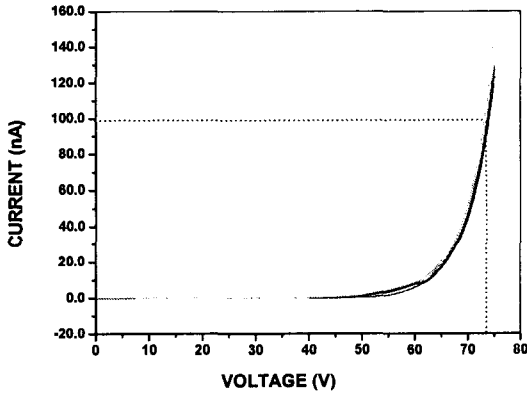


그림 8. 공정조건 3에 대한 Breakdown 전압.

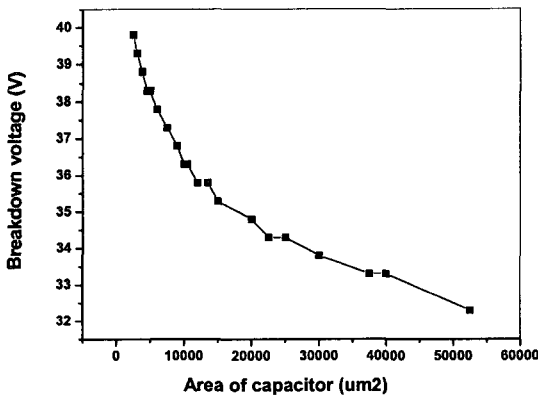


그림 9. Area별 Breakdown 전압 변화.  
(공정조건 1)

비, 즉 Si/N의 비와 증착율, 즉 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막의 밀집도에 따라 변화한다는 것을 알 수 있었다.[4]

그리고 MIM 콘덴서의 단위면적이 증가할수록 Breakdown 전압이 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

PECVD장비를 사용하여 MIM 콘덴서의 유전체로 사용되는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 박막의 특성을 평가하여 최적화된 공정 조건을 얻을 수 있었으며 이렇게 최적화된 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막을 실제 MIM구조의 콘덴서에 적용하여 유전체 막으로써의 최적 공정 조건을 수립하였다.

MIM 콘덴서의 유전체 막으로 사용되는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>박막의 두께를 200nm에서 100nm로 줄임으로 인해 단위 면적 당 정전용량을 증가시킬 수 있었으며, 가스 혼합비를 조절하여 굴절율을 1.9로 하고 공정 압력을 낮추어 증착율을 떨어뜨림으로 인해 MIM 콘덴서의 Breakdown 전압을 70V이상까지 증가시킬 수가 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] G.N. Parsons, J.H. Souk and J. Batey, "Low hydrogen content stoichiometric silicon nitride films deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition" J. Appl. Phys., Vol.70, no.3, 1991.
- [2] H.J. Stein, V.A. Wells, and R.E. Hampy, "Properties of Plasma-Deposited Silicon Nitride", J. Electrochem. Soc., 123, (10), 1750-1754(1979).
- [3] A.K. Sinha, H.J. Levinstein, T.E. Smith, G. Quintana, and S.E. Haseko, "Reactive Plasma Deposited Si-N Films for MOS-LSI Passivation", J. Electrochem. Soc. 125, (4), 601-608(1978)
- [4] L.J. Quinn, S.J.N. Mitchell, B.M. Armstrong, and H.S. Gamble, "Plasma-enhanced silicon nitride deposition for thin film transistor application" J. Non-Crystalline Solids. 187. 347-352(1995)