

# 비정질질화실리콘 박막의 대면적 증착

허창우\*

\*목원대학교 전자공학과

## Large Area Deposition of Amorphous Silicon Nitride Thin Film

Chang-wu Hur\*

\* Dept. of Electronic Engineering, Mokwon Univ.

E-mail : chang@mokwon.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 LCD, 이미지 센서 등의 개별 소자인 비정질 실리콘 박막 트랜지스터에서 게이트 유전층 및 절연층으로 사용되는 비정질 질화 실리콘 박막을 사일렌( $\text{SiH}_4$ ) 및 암모니아가스를 사용해서 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 진공 증착장비로 최적의 비정질질화실리콘 박막 증착 조건을 확립한다. 먼저 반응실의 진공도, rf 전력,  $\text{SiH}_4$  및 질소 그리고 암모니아가스의 flow rate를 변화시키면서 형성된 박막의 특성을 조사한다. 계속해서 다른 변수를 고정시킨 상태에서 rf 전력을 변화시키고 다음에는 반응실의 진공도 등을 변화시켜 최적의 증착조건을 확립한다.

이렇게 확립된 증착조건을 사용하여 비정질질화실리콘박막을 제작하여 특성을 측정하 결과 우수한 성능을 나타냈음을 확인하였다.

### 1. 서론

비정질(또는 비결정) 과 다결정 그리고 단결정은 구성 원자들간의 상호 배열에 대한 규칙성에 따라 구별된다. 단결정이나 다결정에 비해 비결정은 원자들 간에 구성이 무질서하여 전자소자로서 사용이 매우 제한되어 왔다. 그러나 이 비결정에서도 원자들간에 상호 단거리 질서(배위수, 원자간격)가 존재하여 전기적인 특성이 단결정에 비하여 상당히 떨어져도 특정한 용도의 전자소자로서 사용이 가능하여 이에 대한 연구가 1980년대 이후 상당히 진척되어 왔다. 특히 비정질 실리콘의 경우 다른 재료에 비하여 광전변환 특성이 매우 우수하여 이 분야에서의 박막 개발은 상당한 성과를 이루고 있다.

또한  $\text{SiN}_x$ 의 광학적성질과 박막의 증착조건과의 관계는 계속적으로 연구되고 있다.

특히 수소화된 비정질질화실리콘은 비정질질화실리콘의 dangling bond를 수소가 결합하여 국부적준위(localized states)를 감소시킴으로써 양질의 a-SiN:H 박막을 제조할 수 있다. 수소

화된 비정질질화실리콘은 수소화 되지 않은 질화실리콘에 비하여 전기적특성 및 광학적특성이 우수하다.

a-SiN:H 박막의 증착 방법으로는 rf나 dc glow discharge에 의한 silane( $\text{SiH}_4$ )가스와 암모니아( $\text{NH}_3$ )가스의 분해를 이용하는 방법과  $\text{SiH}_4$  과  $\text{NH}_3$ 가스를 550~650°C에서 열 분해(thermal decomposition)하는 CVD(Chemical Vapor Deposition)방법으로 박막을 증착한 후 수소화 시키는 방법 등이 실현되고 있다.

본 연구에서는 최근 비정질 실리콘 박막 트랜지스터에서 게이트 유전층으로써 관심이 고조되고 있는 수소화된 비정질질화실리콘을 박막화하여 박막트랜지스터의 게이트 유전층으로 활용하기 위하여 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)진공증착 장비를 이용하여 수소화된 비정질질화실리콘을 박막화한다. 우수한 특성을 갖는 수소화된 비정질질화실리콘 박막을 구하기 위하여 증착조건 변수를 최적화하여 최상의 비정질질화실리콘박막을 제조하고자 한다.

II. a-SiN:H박막의 성장조건에 따른 물성 및 전기적 특성

a-SiN:H박막의 증착 방법으로는 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)에 의한 플라즈마 방전 화학적 증착기술을 사용하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용한 PECVD장치로써 로타리 및 부스터펌프를 사용하여  $\sim 10^{-3}$  Torr 정도의 최저진공에 도달할 수 있다. 글로우 방전 플라즈마 증착기술의 장점은 가스 화학 반응이 비교적 낮은 기판온도 (200~400°C)와 낮은 반응실압력 (1 Torr 이하)에서 일어나기 때문에 기판선택이 용이하며 넓은 면적을 증착시킬 수 있고, 양질의 박막을 만들 수 있다. a-Si:H 박막은 증착조건(반응실 압력, rf 전력, 가스 유량등)에 따라 수소결합 상태가 변화하고 수소 결합 상태에 의해서 박막의 전기적, 광학적 물성이 현저하게 변하므로 소자로서 응용하기 위한 박막을 제조하기 위해서는 여러 증착조건에서 실험하여 최적의 증착조건을 구해야한다.

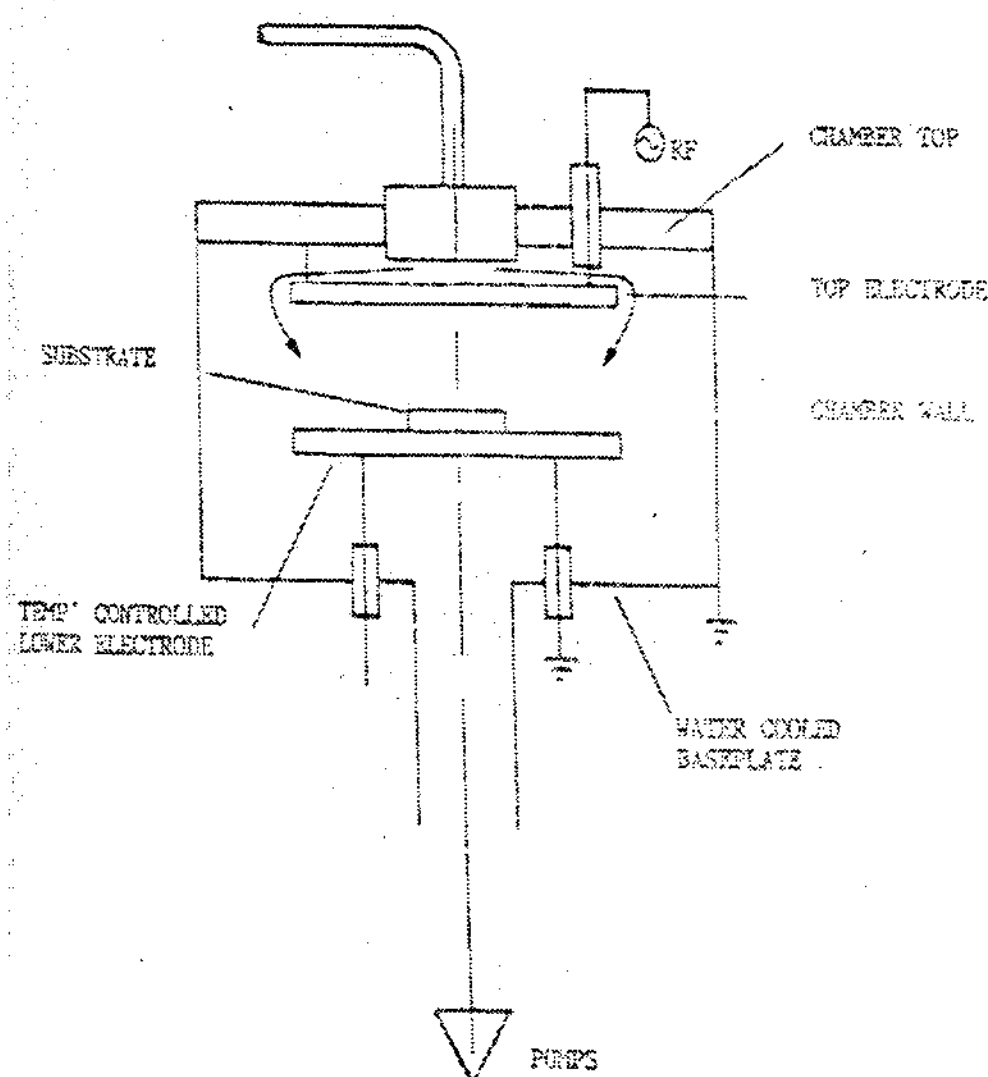


그림1. PECVD장치

PECVD법에 의한 수소화된 비정질질화실리콘의 막 특성을 변화시켜주는 인자로는 가스의 종류 및 가스의 flow rate, gas ratio, r.f. power, chamber pressure 그리고 기판온도등 여러 가지가 있다. 본 실험에서는 NH<sub>3</sub> flow rate, R.F. power, Chamber 압력 그리고 기판온도등을 변수로 하여 다른 인자들은 고정하고 하나의 변수를 여러조건으로 변화시키는 방법으로 실험하였다. (표1~표4) 각각의 조건에서 박막의 특성 측정항목은 두께, 균일도, 증착속도, optical band gap, 항복전압, 유전상수, 비저항, 식각율, 굴절계수 그리고 실리콘과 질소의 비 등등을 조사하였다.

그림2는 FTIR 측정실험으로 수소화된 비정질 질화실리콘 박막은 파수 3400cm<sup>-1</sup>에서 N-H bonding이 2100 cm<sup>-1</sup>에서 Si-H bond가 존재하고 파수 850 cm<sup>-1</sup>에 나타난 결합은 Si-N의 진동 모오드에 의한 것이다. 그러므로 본 실험에서 제작한 a-SiN:H 박막은 N-H 모오드, Si-N모오드 및 Si-H결합이 존재함을 알 수 있었다.

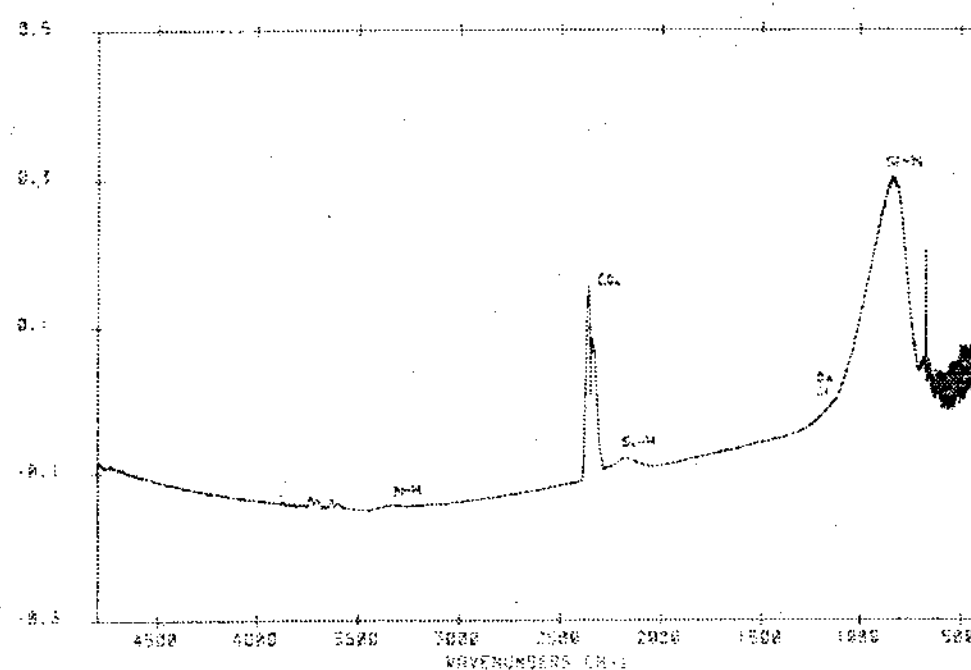


그림2. 수소화된 비정질질화실리콘의 FTIR 측정

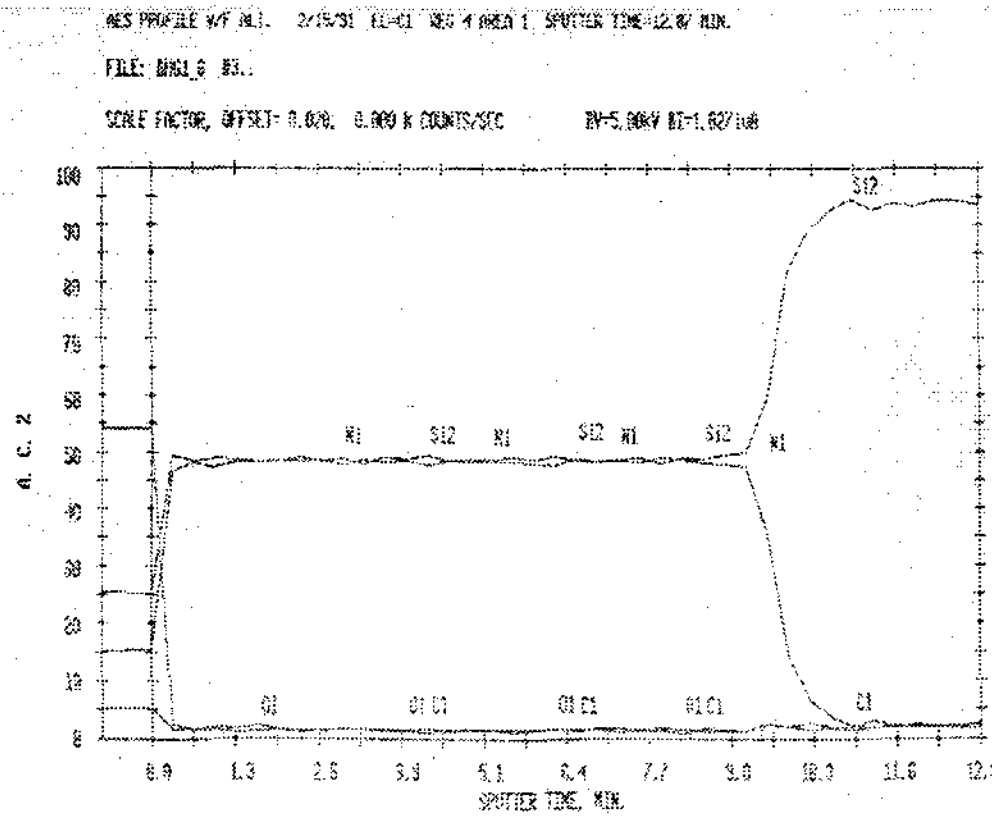


그림3. 수소화된 비정질질화실리콘의 AES 측정

표1. NH<sub>3</sub> flow rate에 따른 a-SiN:H의 특성 (SiH<sub>4</sub>: 30sccm, Pc: 0.4Torr, R.F.: 20watts, Ts: 250°C)

NH <sub>3</sub> flow rate(sccm)	180	150	120	105
Thickness(Å)	~2800	~3000	~3150	~3400
Uniformity(%)	3.6	3.3	1.6	2.9
Depo.Rate(Å/min)	80	86	90	97
Eop(eV)	2.03	2.02	2.44	2.58
Breakdown Strength(MV/cm)	3.5	3.0	2.35	2.06
Dielectric Constant	8.16	7.85	9.04	7.30
ResistivityX10 <sup>14</sup> (Ω-cm)	39	7.7	5.0	4.8
Etch rate(Å/sec)	1273	943	334	229
Refractive Index	1.91	1.94	2.02	1.98
AES(Si/N)	1.49	1.20	1.01	1.02

표2. R.F. power에 따른 a-SiN:H의 특성 (SiH<sub>4</sub>: 30sccm, Pc: 0.4Torr, NH<sub>3</sub>: 120sccm, Ts: 250°C)

R.F. power	10	50	100	150
Thickness(Å)	~3150	~3700	~2850	~2250
Uniformity(%)	2	13.5	8.8	11
Depo.Rate(Å/min)	81	185	140	113

Eop(eV)	2.53	2.58	?	?
Breakdown Strength(MV/cm)	2.2	3.8	5.9	1.6
Dielectric Constant	7.69	6.84	8.14	8.76
ResistivityX10 <sup>14</sup> (Ω-cm)	8.0	51.4	70.0	1.4
Etch rate(Å/sec)	420	2517	1696	5000
Refractive Index	2.02	1.84	1.85	1.82
AES(Si/N)	1.68	1.87	1.00	0.89

표3. Chamber 압력에 따른 a-SiN:H의 특성 (SiH<sub>4</sub>: 30sccm, R.F.: 100watts, NH<sub>3</sub>: 120sccm, Ts: 250°C)

Chamber Pressure(Torr)	0.2	0.3	0.4	0.6
Thickness(Å)	~2350	~2050	~2850	~3450
Uniformity(%)	12.3	2.4	8.8	11.4
Depo.Rate(Å/min)	94	103	140	192
Eop(eV)	3.03	2.64	?	2.1
Breakdown Strength(MV/cm)	5.0	5.9	5.9	7.0
Dielectric Constant	5.2	7.5	8.14	7.0
ResistivityX10 <sup>14</sup> (Ω-cm)	0.7	17	70.0	14
Etch rate(Å/sec)	57	66	1696	182
Refractive Index	1.88	1.90	1.85	1.79
AES(Si/N)	0.98	0.89	1.00	1.47

표4. 기판온도에 따른 a-SiN:H의 특성 (SiH<sub>4</sub>: 30sccm, Pc: 0.3Torr, R.F.: 100watts, NH<sub>3</sub>: 120sccm)

Substrate Tem.(°C)	200	300	350
Thickness(Å)	2100	2650	2000
Uniformity(%)	4.8	1.9	5.0
Depo.Rate(Å/min)	105	133	100
Eop(eV)	3.1	2.4	3.0
Breakdown Strength(MV/cm)	5.6	7.0	5.0

Dielectric Constant	6.0	6.5	6.0
Resistivity $\times 10^{14}(\Omega\text{-cm})$	13	19	11
Etch rate( $\text{\AA}/\text{sec}$ )	42	294	11
Refractive Index	1.82	1.79	1.83
AES(Si/N)	1.38	1.11	0.81

$\text{NH}_3$ 유량에 변화에 따른 비정질질화실리콘 특성(표 1, 2, 3, 4)을 고찰해 볼 때  $\text{NH}_3$ 유량이 120sccm 인 경우가 균일도나 유전상수등 특성이 가장 우수하였고, R.F. power 의 경우 100watts, Chamber 압력의 경우 0.3Torr 그리고 기판온도는 250 $^{\circ}\text{C}$ 가 가장 우수하다고 판단된다.

#### IV. 결론

본 논문에서 수행한 실험에서 수소화된 비정질질화실리콘 박막은 파수 3400 $\text{cm}^{-1}$ 에서 N-H bonding이 2100  $\text{cm}^{-1}$ 에서 Si-H bond가 존재하고 파수 850  $\text{cm}^{-1}$ 에 나타난 결합은 Si-N의 진동 모오드에 의한 것이다. 그러므로 본 실험에서 제작한 a-SNi:H 박막은 N-H 모오드, Si-N모오드 및 Si-H결합이 존재함을 알 수 있었다. 즉 비정질질화실리콘 박막은 확장/흔들림 모오드의 Si-H 결합이 존재함을 알 수 있으므로 수소화 되었음을 확인하였고 이는 비정질질화실리콘박막의 결정결합의 상당한 감소를 의미 하는 것이다.

이상의 결과를 고찰해볼 때  $\text{NH}_3$ 유량을 120sccm, rf 전력은 100watts, 기판온도 250 $^{\circ}\text{C}$ , 반응실 압력 0.3 Torr 의 조건이 최적임을 확인 할 수 있었고 이 조건으로 실험하였을 경우 가장 우수하고 안정된 박막 특성을 구할 수 있었다.

본 연구에서 확립한 증착공정은 2.5eV이상의 optical bandgap과 분당  $\sim 100\text{\AA}$  정도의 증착율 및  $\sim 5\text{MV}/\text{cm}$ 항복전압을 구할 수 있는 수소화된 비정질질화실리콘 박막을 제작 할 수 있다. 이는 박막트랜지스터의 유전층에 사용하기에 충분한 값으로 차후 이조건을 사용하여 보다 효율이 뛰어난 박막트랜지스터의 제작을 기대한다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Y.Okubo, T. Nakgiri, Y. Osada, M. Sugata, N. Kitahara, and Hatanaka, "Large scale LCD's addressed by a-Si:H TFT array", SID,pp.40-41,1982
- 2) Ronald R. Troutaman, "Forecasting Array Yields for Large Area TFT LCD's" SID Vol. 21, pp. 197-200,1990
- 3) Karl Kempter, "Large Area Electronics Based on Amorphous Silicon" Festkorper problem 27, pp. 279-305, 1987
- 4) S. Kawai, N. Takagi, T. Kodama, K. Asama, and S. Yangisa, "Amorphous Silicon TFT for LCD panel", SID, pp. 42-43, 1982
- 5) Y. Hamakawa, "Amorphous semiconductor technologies and devices", OHM. North Holand, 1983
- 6) Yutaka Ishii, Yutaka Takafuki and Tomio Wada, "High Performance a-Si TFT array for LCD Device" SID International conference, pp. 295-296, 1985
- 7) Yasuhiro Nasu, Satoru Kawai and Kenichi Hori, "Color LCD for character and TV Display Address by self aligned a-Si:H TFT" SID digest pp. 289-292, 1986
- 8) Glliott Schlam, "Status of Flat Panel Display", SID Vol. 11 May. pp. F-1-1-40, 1990
- 9) M. Ristova, Y. Kuo, H. H. Lee, S. Lee and Y. J. Tewg, "Amorphous Silicon Photodiodes for Image Sensing," Applied Surface Science, 218, 44-53, 2003.