

Remote Plasma Enhanced CVD에 의한
수소화된 비정질 실리콘 박막의 제작 및 특성 연구

○ 양 영 식, 윤 여 진, 장 진
경희대학교 물리학과 및 기초과학 연구소

Fabrication and Characterization of a-Si:H
Films by a Remote Plasma Enhanced CVD

Young Sik Yang, Yeer Jean Yoon, Jin Jang
Dept. of Physics & Research Institute for Basic Science
Kyung Hee University

ABSTRACT

Hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) films have been deposited, for the first time, by a remote plasma chemical vapor deposition. The hydrogen radical plays an important role to control the deposition rate. The bonded hydrogen content to silicon is independent of hydrogen partial pressure in the plasma. Optical gap of deposited a-Si:H lies between 1.7eV and 1.8eV and all samples have sharp absorption edge.

B-doped a-Si:H films by a RPECVD has a high doping efficiency compared with plasma CVD. The Fermi level of 100ppm B-doped film lies at 0.5eV above valence band edge.

I. 서 론

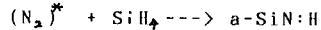
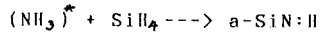
High quality를 가진 비정질 반도체를 제작하는 방법으로 plasma CVD와⁽¹⁾ photo-CVD가⁽²⁾ 있다. plasma CVD법은 비정질 반도체의 제작시 ion damage를 받는 반면, photo-CVD는 ion damage를 받지 않는다.

NH₃, N₂ 그리고 O₂를 rf로 활성화시킨 후 silane 기체와 반응시켜 시료를 증착하는 RPECVD는 silicon oxide와 nitride를 이용한 (In,Ga)As IGFET 소자는 75mS/mm의 높은 n-channel transconductance를 나타내었다. (3)

RPECVD에서 hydrogen을 rf로 활성화시킨 후 silane 기체와 반응시킴으로써 비정질 실리콘 반도체를 처음으로 제작하여 특성을 조사하였다. 이 특성은 plasma CVD에서 제작한 비정질 실리콘의 특성보다 우수함을 확인하였다.

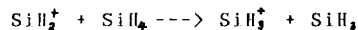
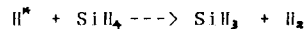
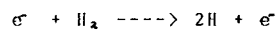
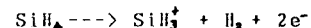
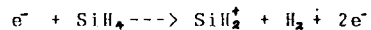
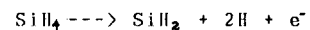
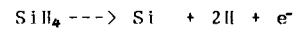
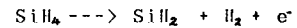
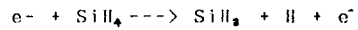
II. RPECVD

RPECVD에서 제작된 silicon oxide 및 silicon nitride의 제작은 rf 플라즈마에 의해 먼저 NH₃, N₂, O₂ 등을 활성화시켜 사이렌(SiH₄)과 반응시키는 것으로 다음의 화학 반응식으로 표시된다.



RPECVD에 의한 silicon nitride는 N-H 함량이 Si-H 보다 커서 pin hole의 density가 작고 breakdown voltage가 크다.

RPECVD로 제작된 비정질 실리콘 반도체의 초기 분해과정은 다음과 같다.



초기 분해과정에서 생성된 물질들이 상호 반응하여 상호간에 복잡한 결합과정을 거치면서 교체된다.

III. 실험 방법

RPECVD 장치는 기체를 활성화시키는 reacting tube와 decomposition chamber로 나누어진다. 수소 기체를 reacting tube (Pyrex tube)에 일정한 유속으로 흘린 후 15 - 30W의 rf power를 가해준 다음, 기판 위에서 SiH₄ 혼합기체와 반응시켰다. 사용된 기체는 순수한 H₂, B₂H₆/SiH₄ = 1x10⁻⁴, PH₃/SiH₄ = 1x10⁻⁴

이다. 기판은 Corning 7059 glass 와 단결정 실리콘 wafer (20 Ω cm)를 사용하였다. 시료제작시 기판온도는 undoped 와 P-doped a-Si:H는 230°C, B-doped a-Si:H는 190°C이다.

Varian사의 Cary 17-D spectrophotometer를 사용하여 시료의 흡수 계수 (α) 및 광학적 갭 E_g^{opt} 을 상온에서 구하였으며, 시료의 두께는 다중간섭무늬에 의해서 구했다. 압 및 광전기전도도를 Keithley 617 electrometer를 사용하여 조사 하였으며, 광원으로는 ELH lamp 300W를 사용하여 AMI 조건을 만족시켰으며, IR filter를 사용하여 적외선이 시료에 미치지 않게 하였다.

IV. 결과 및 논의

그림 1은 유입되는 SiH_4/H_2 의 양에 따른 증착속도를 나타낸 것으로, rf power 가 낮은 경우 SiH_4 기체의 양에 따라 증가하고, 높은 rf power에서는 일정하게 나타나는데, 이 또한 수소의 활성화 상태가 시료의 증착에 관여하기 때문이다.

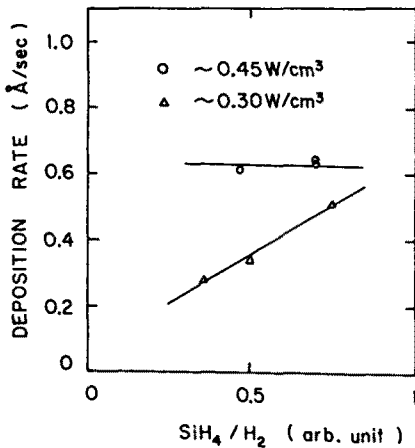


그림 1. 서로 다른 rf 전력 밀도에서 비정질 실리콘 박막의 증착속도가 유입되는 SiH_4/H_2 비에 따른 변화.
Fig. 1 Dependence of deposition rate for a-Si:H films on feed silane and hydrogen flow rate under the different rf power density.

그림 2는 시료에 포함된 수소의 양이 chamber내로 유입되는 SiH_4 기체와 방전관으로 유입되는 수소 기체의 유량에 관계없이 일정함을 나타낸다. 시료에 포함된 수소의 양은 7 - 8%이다. 플라즈마 CVD에 의한 비정질 실리콘에서 시료에 포함된 수소의 양은 기판온도, rf 전력등에 크게 의존하지만 SiH_4/H_2 에는 무관하게 나타났다.

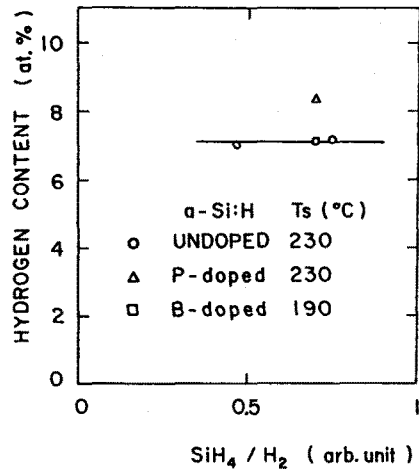


그림 2. 비정질 실리콘 박막에서 실리콘과 결합한 수소의 양이 유입된 SiH_4/H_2 비에 따른 변화.
Fig. 2 The hydrogen content bonded to silicon plotted against feed silane and hydrogen partial pressure.

| a-Si:H | E_g^{opt} (eV) | E_0 (meV) | B (cm eV ^{-1/2}) |
|---------|------------------|-------------|----------------------------|
| UNDOPED | 1.82 | 48.8 | 626.0 |
| UNDOPED | 1.70 | 61.7 | 608.0 |
| P-doped | 1.73 | 56.0 | 625.5 |
| B-doped | 1.79 | 52.7 | 524.9 |

표 1. RPECVD에 의해 제작된 비정질 실리콘 박막의 광학적 상수.
Table 1. Optical constants of a-Si:H films by a RPECVD.

표 1은 undoped, P-doped 와 B-doped a-Si:H 박막의 광학적 갭 E_g^{opt} , Urbach tail 상수 E_0 와 B를 나타낸 것으로, 상수 E_0 는 흡수계수(α)가 $10 < \alpha < 5 \times 10^3$ cm⁻¹의 영역에서 지수적으로 변화하는 band tail states 와 band 사이의 흡수 때문이다(4) 각 시료의 E_0 가 60meV 이하의 값을 가지므로 tail이 가파름을 알 수 있다. 그리고 상수 B는 band edge에서의 가파름을 알려주는데, Tauc's relation ($\alpha h\nu$)² = B (h ν - E_g^{opt})²로부터 구했다. B값은 ~600 (cm eV)^{1/2}로 역시 band edge 가 가파름을 알 수 있다.

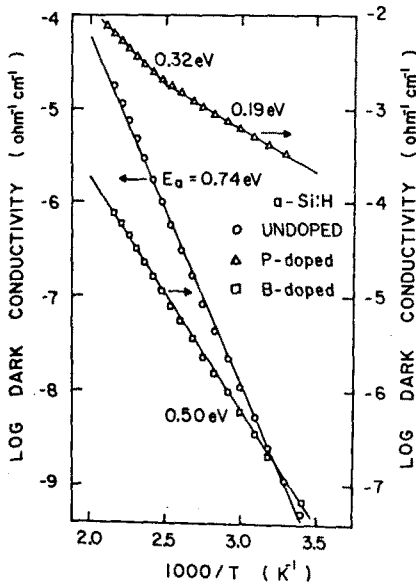


그림 3. Undoped 및 도핑된 비정질 실리콘 박막의 암전기전도도가 온도에 따른 변화.
 Fig. 3 Arrhenius plot of dark conductivity for undoped and doped a-Si:H films.

그림 3은 undoped, 100ppm P-doped, 100ppm B-doped a-Si:H 박막의 암전기전도도를 Arrhenius 구성으로 나타내었다. P-doped 시료는 고온영역에서 band edge에서의 전도현상과 저온영역에서 mobility gap 내의 donor level에서의 hopping conduction이 일어나는 반면, B-doped 시료는 단일된 전도 channel을 가지며 Fermi level이 가전도대 위로 0.5eV 위치에 있다. 이 Fermi level은 plasma CVD에서 B가 100ppm 도핑된 시료의 $E_g = E_F - E_v = 0.8\text{eV}$ 에 비하여 도핑효율 (doping efficiency)이 높음을 알 수 있다.

그림 4와 5는 AMI 조건하에서의 각 시료의 light-induced effect를 나타낸 것으로 undoped 시료는 짧은 시간내에 암 및 광전기전도도가 급히 감소하다 일정하게 유지되지만, 도핑된 시료는 상반된 결과를 보인다. 인이 도핑된 시료는 장시간의 빛의 조사에도 계속적으로 감소하는데, 이는 시료의 상태 밀도가 낮기 때문이다. Boron이 도핑된 시료는 암 및 광전기전도도가 감소하지 않고 일정하게 유지되는데, 이는 빛의 조사후 T_3 의 수가 감소하고 T_2^+ 와 B_4^- 가 증가되어 Fermi level이 가전도대로 이동하여 도핑 효율을 증가시키기 때문이다.⁽⁶⁾ 그리고 빛의 조사시에

암전기전도도가 감소하지 않은 것으로 보아 dangling bond가 생성되는 것보다는 3-fold의 boron이 fourfold coordinated boron center로 변화하는 효과가 클 것으로 생각된다.

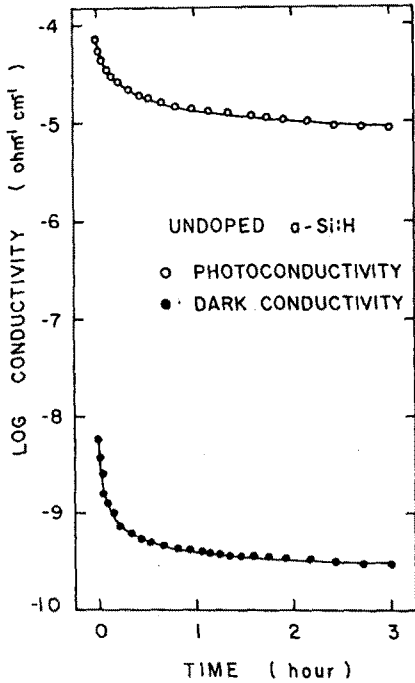


그림 4. AMI 조건에서 Undoped 비정질 실리콘 박막의 암 및 광전기전도도가 빛의 조사 시간에 따른 변화.

Fig. 4 Dark- and photoconductivity of undoped a-Si:H film plotted against a illumination time under AMI.

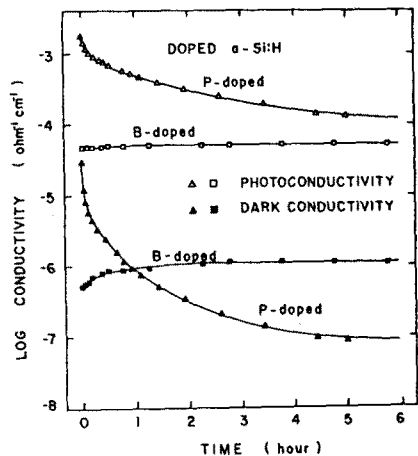


그림 5. 도핑된 비정질 실리콘 박막에서 암 및 광전기전도도의 AMI 빛의 조사 시간에 따른 변화.

Fig. 5 Dark- and photoconductivity of doped a-Si:H films plotted against a illumination time under AMI.

V. 결론

RPECVD법에 의해 제작된 비정질 실리콘의 제작조건 및 특성은 다음과 같다.

1. RPECVD에 의해 증착된 a-Si:H는 수소 방전 전하 밀도가 높을수록 증착속도가 빠르다.
2. 시료내에서 결합에 참여한 수소의 양은 유입된 수소 및 SiH₄ 기체의 유속에 관계없이 일정하다.
3. Undoped 및 doped a-Si:H 박막의 광학적 갭은 1.7 - 1.8eV이고, 이때 지수적으로 변화하는 tail state의 폭은 60meV 이하이고 band edge의 가파름을 나타내는 B는 $\sim 600(\text{cm}^{-1}\text{eV})^{1/2}$ 이다.
4. Phosphorus 가 100ppm 도핑된 a-Si:H의 암전기전도도는 저온과 고온영역에서 다른 전도 channel을 가지나, boron이 100ppm 도핑된 시료는 온도에 관계없이 동일한 전도 특성을 가지며, plasma CVD 시료에 비해 doping efficiency 가 크다.

5. Boron이 100ppm doping된 a-Si:H는 undoped와 P-doped 시료와는 다르게, AMI 조건에서의 장시간 빛의 조사에도 전기전도도의 변화가 없어 안정성이 좋다.

참고 문헌

1. R. C. Chittick, J. H. Alexander and H. F. Sterling, J. Electrochemical Soc. 116, 77(1969)
2. T. Kamimura and M. Hirose, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 1778(1986)
3. R. D. Richard, R. J. Markunas, G. Lucovsky, P. G. Fountain, A. V. Mansour and D. V. Tsu, J. Vac. Sci. Technol. A3, 868(1985)
4. H. Fritzche, In " Physical Properties of Amorphous Materials ", (D. Adler et. al, ed) P.313 (Plenum Press, 1985)
5. J. Tauc, In " Amorphous and Liquid Semiconductors ", (J. Tauc ed), Chap 4 (Plenum Press, 1974)
6. J. Jang, S. C. Park, C. G. Lee, S. C. Kim, C. Lee and J. K. Yoon, Proc. of 1987 MRS Meeting (Anaheim, CA, USA)