

## 레이저 빔을 이용한 비정질실리콘 전기적 특성의 비파괴 측정

### Nondestructive Measurement on Electrical Characteristics of Amorphous Silicon by Using the Laser Beam

박 남 천.

Nam-Chun Park

#### Abstract

A small electrical potential difference which appears on any solid body when subjected to illumination by a modulated light beam generated by laser is called photocharge voltage(PCV)[1,2]. This voltage is proportional to the induced change in the surface electrical charge and is capacitatively measured on various materials such as conductors, semiconductors, ceramics, dielectrics and biological objects. The amplitude of the detected signal depends on the type of material under investigation, and on the surface properties of the sample.

In photocharge voltage spectroscopy measurements[3], the sample is illuminated by both a steady state monochromatic bias light and the pulsed laser. The monochromatic light is used to create a variation in the steady state population of trap levels in the surface and space charge region of semiconductor samples which does result in a change in the measured voltage.

Using this technique the spatial variation of PCV can be utilized to evaluate the surface conditions of the sample and the variation of the PCV due to the monochromatic bias light are utilized to characterize the surface states. A qualitative analysis of the proposed measurement is present along with experimental results performed on amorphous silicon samples. The deposition temperature was varied in order to obtain samples with different structural, optical and electronic properties and measurements are related to the defect density in amorphous thin film.

**Key Words(중요용어) :** amorphous silicon, nondestructive measurement, laser beam, photocharge voltage, surface state

#### 1. 서론

고체 표면에 레이저빔을 조사할 때 고체 표면 포텐셜이 변화되고 따라서 작은 전압이 유도된다. 이 전압을 광전하전압(photocharge voltage)이라고 칭한다[1,2]. 이 논문에서는 유리기판 위에 제조된 비정질 실리콘(amorphous Si:H) 필름에 초핑된 레이저빔을 조사할 때 발생하는 전압의 크기를 용량성 결합을 이용하여, 제조 온도(200[°C] 및 400[°C])에

따른 이 필름의 광학적 에너지 갭, 표면상태를 비파괴적으로 측정,평가하였으며, 또한 비정질 실리콘 필름의 균질성 파악을 위해 이차원적 위치변화에 따른 전압의 크기를 측정,평가하였다.

비정질 실리콘은 태양전지, 비정질 실리콘 TFT-LCD, 광 인식 이미지 센서, X-ray검출기 등 여러 분야에서 응용되는 물질이며, 이는 250[°C] 정도의 저온에서도 박막의 제작 그리고 대면적 박막의 제조가 가능하다. [4]

#### 2. 이론

반도체에 빛이 입사되면 주로 Dember Effect 또는 Photovoltaic Effect 에 의해서 전압이 발생된다. 반도체의 에너지 갭보다 큰 빛 에너지가 입사되면

---

경남대학교 전기전자공학부  
경남 마산시 월영동 449 경남대학교  
Fax: 055-249-2839  
e-mail:nachpa@hanma.kyungnam.ac.kr

전자-정공 쌍이 발생되며 소수 캐리어는 반도체의 표면 및 벌크로 이동한다. 표면으로 이동한 소수 캐리어는 표면 트랩에 포획되거나 표면 근처의 공간전하 영역에 축적된다. 이 과정에서 발생하는 전압은 용량성 결합을 이용하여 비파괴적으로 측정할 수 있고 이 전압의 간략한 표현은 식(1)과 같다

$$V = \frac{1}{C_{sc} + C_{ss}} \cdot \frac{\phi_L/aL}{S_p + \frac{L_P}{\tau_B} \exp(q\Phi_s/kT)} \quad (1)$$

여기서  $\phi_L$ 은 레이저의 단위면적 및 단위시간당 포톤수,  $q$ 는 전자 또는 정공의 전하량,  $a$ 는 흡수계수,  $L_P$  및  $\tau_B$ 는 각각 소수캐리어의 평균 확산거리 및 벌크수명,  $S_p$ 는 표면 재결합 속도,  $\Phi_s$ 는 표면 밴드 밴딩이며  $n$ 형반도체의 경우 음(-)로 가정한다. 그리고  $C_{sc}$  및  $C_{ss}$ 는 각각 단위면적당 공간전하용량 및 표면상태용량(surface state capacitance)이다.[3]

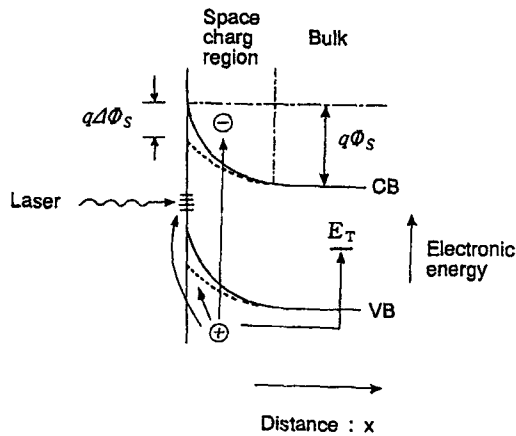


그림 1 Energy band diagram near an n-type semiconductor surface under laser illumination.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험방법

이 실험에서 사용된 광원은 반도체 웨이퍼 측정 시 5mW He-Ne 레이저를 이용하였다. 레이저의 조사에 의해 amorphous Si:H 필름에서 발생하는

전압은 반도체의 경우 보통 수 mV이다. 측정 시 주위 또는 측정기기에서 발생하는 잡음으로 인해서 고체에서 발생된 신호 대 잡음비가 매우 낮다. 따라서 초퍼를 이용하여 레이저를 초핑하고 초퍼에서 발생하는 기준 신호를 lock-in amplifier에 입력한 후 입력신호의 크기 변화에 따른 lock-in amplifier 출력을 이용하여 amorphous Si:H 필름에서 발생하는 전압을 측정하였다. 그리고 측정 샘플에 대한 방해 신호의 영향을 최소화하기 위해서 측정 대상 샘플을 알루미늄 상자에 넣고 측정하였다.

그림2에 실험장치의 구성도를 나타내었다. 레이저 빛은 초퍼에 의해서 초핑된 후 측정 대상의 샘플에 조사된다. 샘플에서 발생된 광 전압은 전압 프리 앰프에 의해서 증폭된 후 락인 증폭기에 입력된다. 이 증폭기에서 샘플의 전압의 크기가 측정되며, 락인 증폭기에서 증폭된 전압은 오실로스코프에 입력되어 그 파형을 측정하였다. 비파괴적 측정을 위한 용량성 결합구조를 그림 3에 나타내었다.

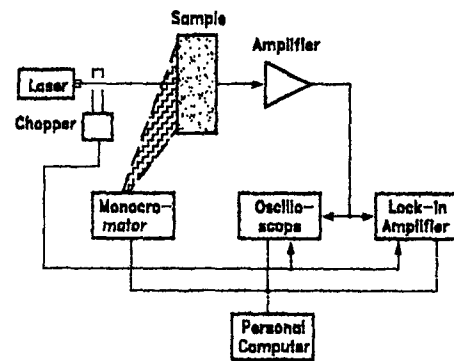


Fig.2. Experimental set-up for the photocharge voltage spectroscopy measurements.

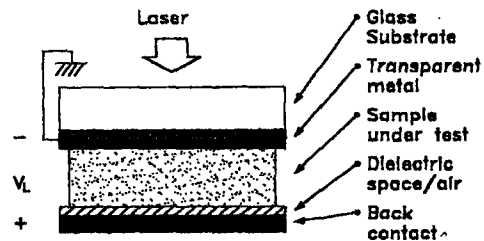


Fig.3. Schematic representation of the capacitive contact used in PCV testing.

### 3.2 실험결과 및 고찰

그림4는 amorphous Si:H에 레이저를 조사했을 때 발생하는 전압의 파형을 나타내었다. 이 그림에서 펄스 파형은 기계적인 초퍼에서 발생하는 전압의 파형이며, 이 파형에서 전압이 높은 상태 일 때 측정 대상 샘플에 레이저가 조사된다. amorphous Si:H에 레이저가 조사되면 발생하는 전압의 극성은 이 그림4에서와 같이 음이었으며 이는 이 샘플의 type이 n형임을 의미한다. 측정 대상의 샘플에 레이저가 차단되면 발생된 전압은 과도현상을 거쳐서 영이된다. 이 과도현상의 시정수는 측정시스템의 구성 및 측정대상 샘플의 전도도 등에 따라 상이하며, 샘플의 전도도가 증가하면 과도응답 시정수는 감소한다.

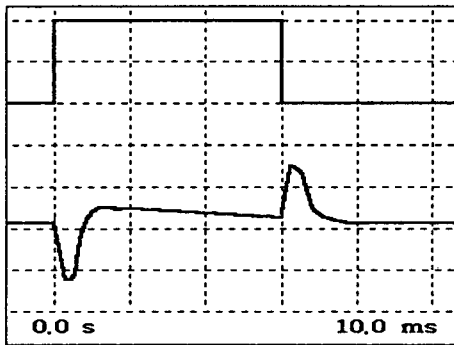


Fig4. Photovoltage waveform on amorphous silicon:H

200[°C] 및 400[°C]에서 유리 표면에 제조된 amorphous Si:H 샘플에 그림2에서와 같이 단색광 발생기에서 발생하는 빛의 에너지를 변화시키면서 측정된 전압을 그림 5에 나타내었다. 이 샘플의 측정된 광학적 에너지 갭은 약 1.75[eV]이었으며 이 단색광 에너지 값에서 측정된 전압의 크기는 최소를 나타내었다. 이는 단색광 에너지에 의해서 전자-정공 쌍이 발생되고, 정공이 샘플의 표면에 축적됨에 따라 표면 포텐셜이 레이저가 조사되기 전에 감소되기 때문이다. 400[°C]에서 제조된 샘플은 단색광 에너지가 에너지 갭에서 1.50[eV]까지 변화될 때, 레이저에 의해 발생하는 전압의 크기는 서서히 증가하였다. Undoped GaAs 웨이퍼에 대해 단색광 발생기에서 발생하는 빛의 에너지를 변화시키면서 측정된 전압을 amorphous silicon:H의 전압과 비교를 위해 또한 그림5에 나타내었다. 이 전압은 단색광 에너지가 이 웨이퍼의 광학적 밴드 갭

(1.42[eV])부근에서 크게 변화되었으며 그 기울기는 amorphous Si:H의 그것 보다 매우 크게 나타났다. 이와 같이 amorphous si:H의 기울기가 완만하게 변화되는 이유는 이 샘플의 금지대 내에 많은 국부 상태(localized state)가 있다는 것을 의미한다. 즉 많은 양의 가전자대 전자가 단색광에 의해서 금지대 내의 국부 상태로 이동하기 때문이다. 결정 실리콘과 비정질 실리콘의 밴드특성을 그림6에 나타내었다[4].

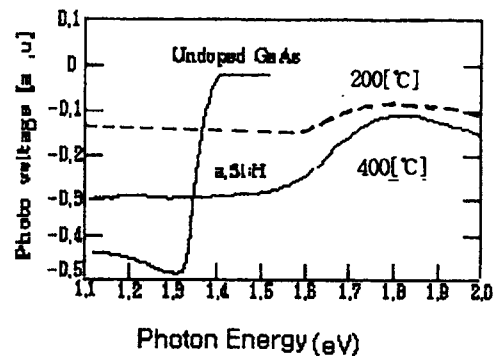


Fig. 5. Relationship between photovoltage magnitude variations and the bias monochromatic light energy

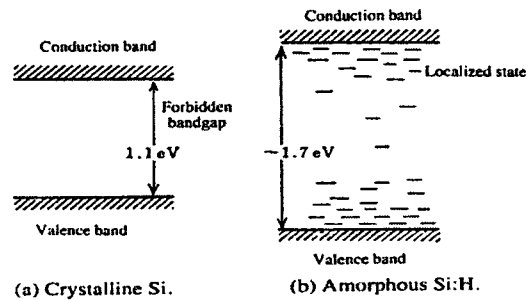


Fig 6. Energy band structure of crystalline Si and amorphous Si:H

200[°C] 및 400[°C]에서 유리기관 위에 제조된 amorphous Si:H의 이차원적인 위치(10mm x 10mm)변화에 따른 전압의 크기를 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 이 전압은 단색광의 조사없이 레이저에 의해서 발생된 전압이다. 이 측정은

amorphous Si:H의 위치변화에 따른 균질성 측정을 위한 것이다. 제조온도가 400[°C]인 샘플의 경우 제조온도가 200[°C]의 샘플의 경우보다 전압의 크기가 컸으며, 위치 변화에 따른 전압의 크기가 균일하게 나타났다. 200[°C]의 샘플의 경우 그림 7에서와 같이 측정된 전압은 주기적인 변화가 있었다. 이차원 측정 전압의 위치에 따른 불균일은 주로 amorphous Si:H의 격자결합 밀도의 불균일에 기인한다.

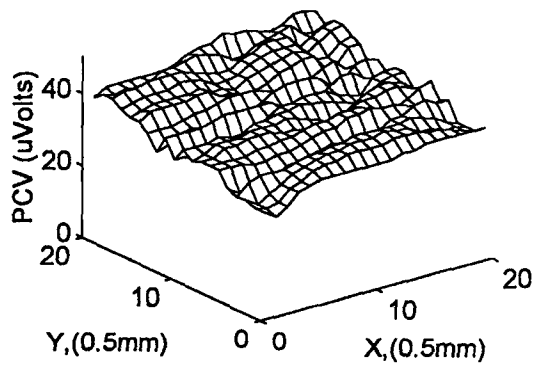


Fig7. Two dimensional photovoltage magnitude by chopped laser beam on amorphous Si:H thin film(deposition temperature:200[°C])

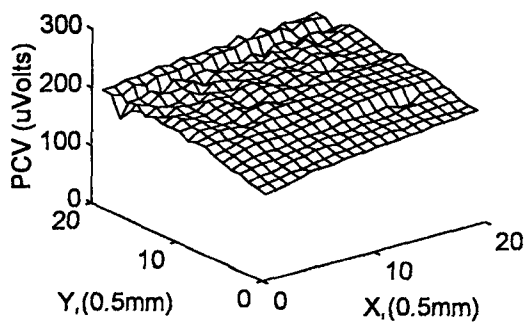


Fig8. Two dimensional photovoltage magnitude by chopped laser beam on amorphous Si:H thin film(deposition temperature:400[°C])

#### IV 결론

이 논문에서는 유리기판 위에 제조된 비정질 실리콘 필름에 초핑된 레이저 빔을 조사할 때 발생하는 전압의 크기를 용량성 결합을 이용하여, 온도 200 [°C] 및 400 [°C]에서 제조된 비정질 실리콘 필름의 광학적 에너지 갭, 표면상태를 비파괴적으로 측정, 평가하였으며, 또한 이차원적 위치 변화에 따른 이 전압의 크기를 측정, 평가하였다. 이차원적 위치 변화에 따른 전압 측정은 amorphous silicon:H의 위치변화에 따른 균질성 측정을 위한 것이다. 제조온도가 400[°C]인 샘플의 경우 제조온도가 200 [°C]의 샘플의 경우보다 전압의 크기가 컸으며, 위치 변화에 따른 전압의 크기가 균일하게 나타났다.

#### 참고 문헌

- [1] V. I. Pustovoit, M. Borisov and O. Ivanov "Photon Charge Effect in Conductors", Physics Letter A , Vol 135 , No 1 , pp 59-61 (1989)
- [2] V. I. Pustovoit, M. Borisov and O. Ivanov "Surface Photocharge Effect in Conductors", Solid State Communications, Vol. 72, no. 6, pp. 613-619, (1989).
- [3] N. C. Park, A. Abbate and P. Das, "Characterization of Semiconductors by Laser-Generated Photocharge Voltage Spectroscopy", Compound Semiconductors 1995 vol 145, Institute of Physics Publishing (1996).
- [4] K. Takahashi and M. Konagai 'Amorphous Silicon Solar Cells' John-Wiley & Sons (1986).