

# SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 혼합기체를 Multistep 방식으로 증착한 수소화된 실리콘 박막의 특성 연구

## A Study on the Characteristics of $\mu\text{c-Si:H}$ Films Prepared by Multistep Deposition Method using SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> Gas Mixture

김 태 환\* · 김 동 현\* · 이 호 준†  
(TAEHWAN KIM · Dong-Hyun Kim · Ho-Jun Lee)

**Abstract** - In this study, we deposited and investigated  $\mu\text{c-Si:H}$  thin films prepared by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition(PECVD) system. To deposition silicon thin films, we controlled SiH<sub>4</sub> gas concentration, RF input power, and heater temperature. According to the experiments, the more SiH<sub>4</sub> gas concentration increased, deposition rate also increased but crystalline property decreased at the same conditions. In the RF input power case, deposition rate and crystalline property increased together when the input power increased from 100[W] to 300[W]. If RF input power was 300[W], deposition rate has reached saturation point. In the heater temperature, deposition rate increased when heater temperature increased. Crystalline property maintained a certain level until heater temperature was 250[°C]. And then it was a suddenly increased. Multistep method has been proposed to improve the quality of  $\mu\text{c-Si:H}$  thin film. SiH<sub>4</sub> gas was injected with a time interval. According to the experiments, crystallite ratio improve about 20~60[%] and photo conductivity increased up to six times.

**Key Words** : CCP, PECVD,  $\mu\text{c-Si:H}$ , Silicon thin film

### 1. 서 론

현재 세계 태양전지 시장의 80% 이상을 차지하고 있는 기판형 실리콘 태양전지는 높은 원자재 가격이 단점으로 지목되고 있다. 또한 기판형 실리콘 태양전지는 ingot으로부터 실리콘 웨이퍼를 전단하는 방식이어서 300[ $\mu\text{m}$ ] 이하의 두께로는 절단이 어렵다는 점도 문제로 지적된다[1].

기판형 실리콘 태양전지가 지니고 있는 이러한 문제점을 해결하기 위해 유리나 같은 저가의 기판 위에 실리콘(Si) 박막을 증착하여 태양전지를 제조하는 기술이 1980년대부터 본격적으로 연구되었다[2]. 실리콘 박막 태양전지는 무기 소재 중 지구상에 가장 매장량이 많고 저렴한 Si를 사용하며, 화학적, 물리적 안정성이 우수하고, 독성이 없는 등 많은 장점을 가지고 있다. 특히 기판형 실리콘 태양전지에 비해 소재 의존율이 매우 낮으며, 우리나라가 특히 경쟁력을 가진 반도체 공정기술을 이용할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 실리콘 박막 종류 중의 하나인 미세 결정질을 포함하고 있는 수소화된 실리콘 박막( $\mu\text{c-Si:H}$ )은 기존 비정질 실리콘 박막에 비해 전기적인 특성이 우수하고 열적 안정성이 높아 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[3][4].

미세 결정질을 포함하고 있는 수소화된 실리콘 박막은

Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) 시스템에서 H<sub>2</sub>/SiH<sub>4</sub> 혼합 기체를 이용하여 얻어지는데 증착 조건에 따라 결정화도와 증착률이 결정된다. 최근에는 고가의 SiH<sub>4</sub> 기체를 효율적으로 이용하여 높은 결정질과 증착률을 얻기 위한 노력이 다방면으로 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 용량성 결합 플라즈마 발생장치를 적용한 40MHz PECVD System을 이용하여 RF 입력 파워, H<sub>2</sub> 기체에 대한 SiH<sub>4</sub> 기체 비율, 히터 온도를 조절해가며  $\mu\text{c-Si:H}$  박막을 증착하고 특성을 분석하였다. 또한 SiH<sub>4</sub> 기체 주입 간격을 조절하여  $\mu\text{c-Si:H}$  박막을 증착하고 기존의 박막과 비교 분석 하였다.

### 2. 실험 및 분석

#### 2.1 용량성 결합 플라즈마를 적용한 PECVD를 이용한 미세결정질 박막 증착

용량성 결합 플라즈마 발생 장치는 장치 구성이 비교적 단순하고 대면적 구동이 용이하여 실리콘 박막 증착에 널리 이용되고 있다. 본 연구에 사용된 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition(PECVD) 장치도는 그림 1과 같다. 반응 용기는 외경[300mm], 높이 300[mm]의 크기를 갖는 원통 형태이다. 전극 간 간격은 14[mm]이며 기판은 두께 4[mm]의 glass 기판을 사용하였다. 40[MHz]의 주파수를 지니는 RF 파워를 사용하였고 입력 파워는 100~500[W]까지 가변하며 실험을 진행하였다. 증착 전 진공도는 10<sup>-3</sup>[Torr] 이하를 유지하였으며 증착 온도는 0~300[°C]까지 가변하며 실험을 진행하였다. 증착에 사용된 기체들은 Mass Flow

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Korea

E-mail : hedo@pusan.ac.kr

\* Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Korea.

Received : January 8, 2014; Accepted : January 8, 2014

Controller(MFC)를 이용하여 주입되는 양을 조절하였다. 이외에도 폭발성 가스의 위험에 대한 안전장치로 가스 캐비닛(Gas cabinet)과 가열 및 습식 방법의 스크리버(Scrubber: Heating Burn & Wet Scrubber) 설비를 그림 5와 같이 구축하였다. SiH<sub>4</sub>기체는 스크리버 장비를 통해 750[°C]로 열분해 하여 배기 하였다.

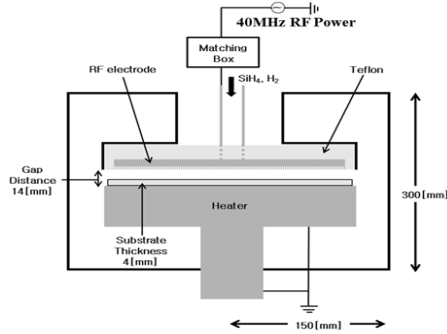


그림 1 용량결합형 플라즈마를 적용한 PECVD System 장치도  
Fig. 1 schematic of CCP PECVD System

### 2.2 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 기체 multistep method

본 연구에서 제안하는 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 기체 multistep method의 기본 개념은 그림 2와 같다. 기존의 방식은 SiH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>기체를 동시에 주입하여 증착을 진행하였다. 본 연구에서 제안하는 방식은 H<sub>2</sub> 플라즈마에 SiH<sub>4</sub> 기체를 시간 간격을 두고 주입하여 단계별 증착을 진행하였다. 제안한 방식을 통해 박막 증착 시 더 높은 H<sub>2</sub>기체 분율이 형성되게 되고 이로 인해  $\mu\text{c-Si:H}$  박막의 결정화도 비율이 증가할 것으로 예상하였다[5]. 또한 박막 증착 사이에 존재하는 H<sub>2</sub>플라즈마를 통해 지속적으로 H<sub>2</sub>처리(H<sub>2</sub> treatment)를 진행하여 박막에 존재하는 미만족 결합(dangling bond)를 줄이고 막질의 향상을 기대할 수 있었다. SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>혼합 기체를 단계별로 주입하기 위한 장치구성은 그림 3과 같다. PECVD System에 장착되어 있는 MFC Controller에 함수 발생기(Function Generator)를 연결하여 구형파 신호를 입력하였다. MFC 구동을 TTL 모드로 전환하여 입력된 구형파 신호로 Valve의 on/off 동작을 제어 하였다.

### 2.3 라만 분광법을 이용한 실리콘 박막의 결정화도

라만 분광기를 이용하여 실리콘 박막을 측정하면 박막의 결정 상태에 따라 그림 4와 같은 라만 그래프를 얻을 수 있다. 일반적으로 비정질 상을 지나는 실리콘 박막의 라만 시프트 피크 값은 480cm<sup>-1</sup>, 미세 결정질 박막의 라만 시프트 값은 518cm<sup>-1</sup>, 높은 결합밀도를 지닌 미세 결정질 박막의 라만 시프트 값은 510cm<sup>-1</sup>을 지닌다. 박막이 미세 결정질과 결합 밀도를 지니고 있는 미세 결정질 그리고 비정질 상태가 혼합되어 있다면 그림 4와 같은 넓은 영역에 걸쳐 그래프가 나타나게 되는데 이러한 그래프를 분해하여 각각의 결정 상태의 혼합비를 계산해낼 수 가 있다.

### 2.4 실리콘 박막의 전기전인 특성 분석(I-V 측정을 통한 전기 전도도 분석)

박막의 저항은 프로브 스테이션 장비를 이용하여 전류와

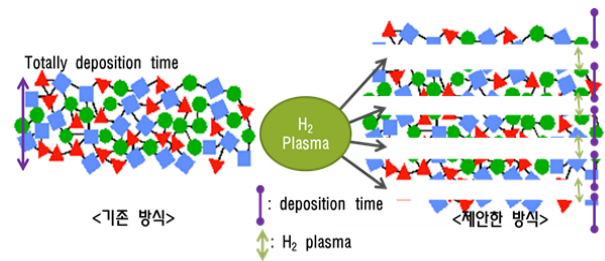


그림 2 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> multistep method 기본 개념도  
Fig. 2 Concept of SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> multistep method

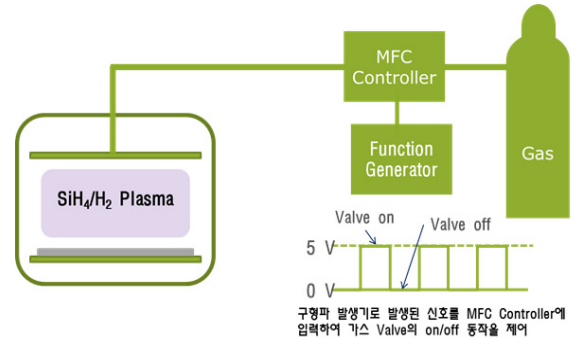


그림 3 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> multistep method 장치도  
Fig. 3 schematic of SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> multistep method

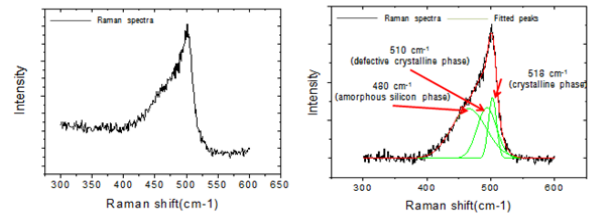


그림 4 미세결정질 실리콘 박막의 라만 그래프  
Fig. 4 Raman Spectrum of  $\mu\text{c-Si:H}$  thin film

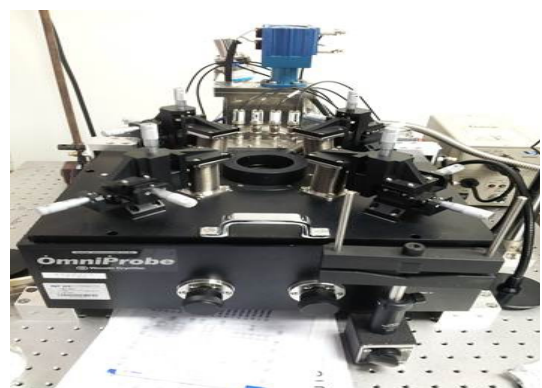


그림 5 Woosin CryeVac 사의 omni probe 모델  
Fig. 5 omni probe of Woosin CryeVac

전압을 측정하여 계산할 수 있다. 본 연구에 사용된 프로브 스테이션 장비는 그림 5에 보는 것 같이 Woosin CryeVac 사의 omni probe 모델이다. 박막의 측정을 위해 샘플을 그림 6과 같이 위치시킨 후 프로브를 양 전극에 접촉 시켰다.

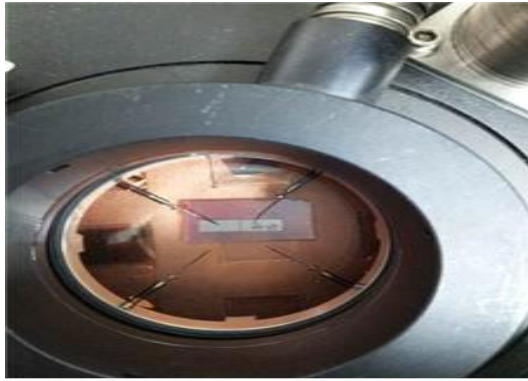


그림 6 샘플 장착 된 probe station  
Fig. 6 sample on probe station

전압은 -10 ~ 10[V]까지 인가하였으며 Dark Current를 측정할 때에는 외부의 빛을 완전히 차단하여 측정을 진행하였다. Photo current 측정 시에는 일본의 Luminar Ace 사의 LA-150FBU 모델의 광원을 사용하였으며 인가 파워는 150[W]로 설정 하였다. 또한 Photo current 측정 시 초기에 샘플이 인공 광원에 노출되는 시간을 1[s]로 동일하게 설정 하였으며 열에너지(heat energy)에 의한 측정 값 오류를 막고자 최대한 짧은 시간에 측정을 진행하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 SiH<sub>4</sub>기체 비율 변화에 따른 증착률과 결정질 특성

H<sub>2</sub>기체에 대한 SiH<sub>4</sub>기체의 농도를 가변하며 증착한 막의 분석 결과는 그림 7, 8과 같다. 증착 시 히터 온도는 200 [°C], RF 파워는 300[W]로 설정하였고 반응 용기 내의 전체 압력(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)은 6[Torr]로 설정하였다. 그림 7에서 알 수 있듯이 반응 용기 내 전체 기체(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)에 대한 SiH<sub>4</sub>기체 비율이 증가하면 증착률이 증가하는 경향을 나타내었다. 기본적으로 Si:H 막막 형성에 주로 참여하는 종(Species)은 SiH<sub>3</sub>으로 알려져 있는데, SiH<sub>4</sub>기체의 비율이 증가할수록 플라즈마 소스에 의해 해리(Dissociation) 되는 SiH<sub>3</sub>종이 증가하게 되어 증착률이 증가한 것으로 예상할 수 있다. 이와 반대로 결정화도는 SiH<sub>4</sub>기체 비율이 증가할수록 감소되는 경향을 나타내었다. H<sub>2</sub>기체의 라디칼들은 막막의 Dangling bond의 비율을 감소시켜 막막의 결정화도를 높이게 되는데,

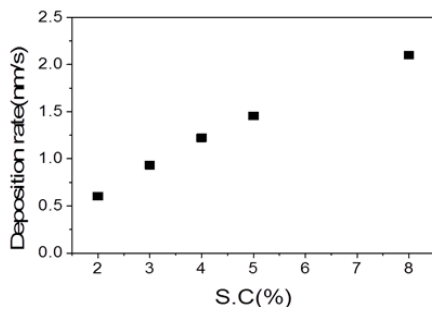


그림 7 SiH<sub>4</sub>기체 비율 변화에 따른 증착률 변화  
Fig. 7 Deposition rate according to change in SiH<sub>4</sub> concentration

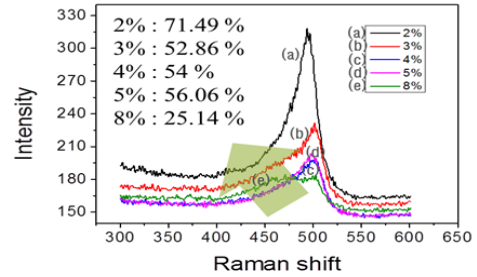


그림 8 SiH<sub>4</sub>기체 비율 변화에 따른 결정화도 변화  
Fig. 8 Raman spectrum according to change in SiH<sub>4</sub> concentration

SiH<sub>4</sub>기체 비율이 감소할수록 H<sub>2</sub>기체의 비율이 증가하게 되어 막막의 결정화도가 높아지게 된 것으로 예상할 수 있다.

#### 3.2 RF 입력 파워에 따른 증착률과 결정질 특성

RF 입력 파워를 가변하며 증착한 막의 분석 결과는 그림 9와 그림 10과 같다. 증착 시 히터 온도는 200[°C], 전체 기체(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)에 대한 SiH<sub>4</sub>기체 비율은 3%로 설정하였고 반응 용기 내의 전체 압력(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)은 6[Torr]로 설정하였다. 그림 9와 10에서 확인할 수 있듯이 RF 입력 파워가 증가할수록 증착률과 결정화도가 함께 증가하다가 300[W]에서 결정화도와 증착률이 포화되는 경향을 나타내었다. 이는 RF 입력 파워가 증가할수록 SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>혼합 플라즈마의 밀도(density)가 증가하고 이에 따라 증착에 참여하는 라디칼의 농도가 증가하여 증착률이 증가된 것으로 예상된다. 결정질

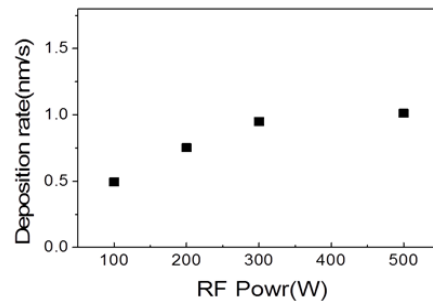


그림 9 RF 입력 파워 변화에 따른 증착률 변화  
Fig. 9 Deposition rate according to change in RF input power

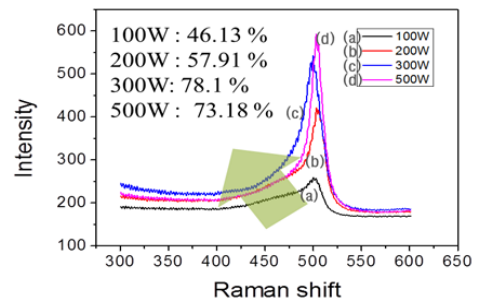


그림 10 RF 입력 파워 변화에 따른 결정화도 변화  
Fig. 10 Raman spectrum according to change in RF input power

또한 마찬가지로 결정 형성에 참여하는 라디칼 종들이 RF 입력 파워가 증가할수록 더 높은 에너지를 지니게 되고 이에 따라 결정에 참여에 필요한 에너지를 충분히 지니게 되어 결정화도가 증가한 것으로 예상된다. 하지만 RF 입력 파워가 300[W]를 초과하게 되면 반응 용기에 존재하는 SiH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub> 기체의 해리 정도가 포화되게 되어 증착률이 증가가 더 이상 일어나지 않는 경향을 나타내었다. 결정질 또한 마찬가지로 결정 성장에 필요한 에너지와 라디칼들이 300[W] 영역에서 포화되어 결정화도 또한 일정 수준에 머무는 경향을 나타내었다.

**3.3 히터 온도 변화에 따른 증착률과 결정질 특성**

히터의 온도를 가변하며 증착한 막의 분석 결과는 그림 11과 그림 12와 같다. 증착 시 전체 기체(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)에 대한 SiH<sub>4</sub>기체 비율은 3%, RF 입력 파워는 300[W]로 설정하였고 반응 용기 내의 전체 압력(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)은 6[Torr]로 설정하였다. 히터 온도 변화에 따른 미세 결정질 실리콘 박막의 증착률은 히터의 온도를 가하지 않은 경우(Room temperature)에서 히터의 온도가 150[°C]로 증가할 때까지 근소하게 증가하다가, 히터의 온도가 250[°C]부터는 증착률이 감소하는 경향을 나타내었고 박막의 결정화도는 R.T부터 150[°C]까지는 일정 수준의 결정화도(40~44%)를 유지하다가 히터의 온도가 250[°C]일때부터는 결정화도가 증가하는 경향을 나타내었다. 처음 히터 온도가 증가함에 따라 박막을 형성하는 라디칼 종(SiH<sub>3</sub>)들이 히터에서 발생하는 열에너지(heat energy)에 의해 박막 형성에 필요한 에너지들을 공급 받아 증착률이 증가한 것으로 예상된다. 결정화도 또한 히터의 온도 250

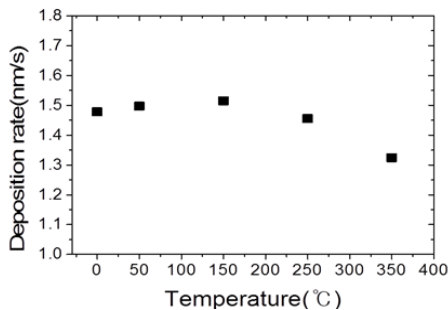


그림 11 히터 온도 변화에 따른 증착률 변화  
 Fig. 11 Deposition rate according to change in heater temperature

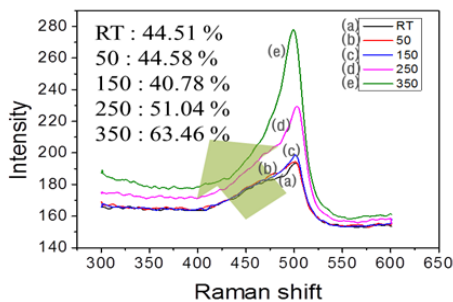


그림 12 히터 온도 변화에 따른 결정화도 변화  
 Fig. 12 Raman spectrum according to change in heater temperature

[°C] 영역에서 박막의 결정화에 참여하는 라디칼 종들이 열 에너지에 의해 박막 표면에서의 이동도(surface mobility)가 증가하여 결정화도가 증가한 것으로 예상된다.

**3.4 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> multistep 방식**

**3.4.1 SiH<sub>4</sub> 농도 변화에 따른 multistep 특성 변화**

Multistep 방식을 적용한 SiH<sub>4</sub>기체 농도 변화에 따른 증착률과 결정화도 변화를 각각 그림 13, 14에 나타내었다. 증착 시 전체 기체(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)에 대한 SiH<sub>4</sub>기체 비율은 3%, 4%, 8%로 가변하였고 RF 입력 파워는 300[W]로 설정하였다. 반응 용기 내의 전체 압력(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)은 6[Torr] 히터 온도는 200[°C]로 설정하였다. Multistep 방식을 적용할 시 SiH<sub>4</sub>기체가 주입되는 간격은 MFC 컨트롤러에 함수 발생기에서 생성된 펄스 신호를 입력하여 Valve의 on/off를 제어하였다. 펄스 신호의 주기는 20[s]로 설정하였고 증착 시간은 5[min]으로 제한하였다.

multistep방식을 적용한 것도 기존과 경우와 동일하게 SiH<sub>4</sub>기체 비율이 증가할수록 증착률이 증가하는 경향을 나타내었다. Multistep 방식은 기존 방식과 비교하여 동일한 증착 시간 동안 주입되는 SiH<sub>4</sub>기체의 양이 절반으로 줄어들게 된다. 이 때문에 증착률도 기존의 방식에 비해 절반 수준이 될 것으로 예상하였지만 결과적으로는 절반 이하의 증착률을 나타냄을 확인하였다. 이는 SiH<sub>4</sub>기체 주입 간격 사이에 존재하는 H<sub>2</sub> plasma가 성장하고 있는 박막에 식각 반응으로 작용하여 증착률이 감소한 것으로 예상된다. 앞서 설명한 H<sub>2</sub> plasma 동일한 효과로 박막의 결정화도는 multistep을 적용할 경우 20~60% 증가함을 확인할 수 있었다. 주목할 부분은 SiH<sub>4</sub>기체 비율이 8% 되는 경우로, 기존 방식에서는 비정질에 가까운 막의 특성을 나타내었지만 제안한 방식을 통해 막의 상태가 완전히 바뀌는 결과를 나타내었다. 이러한 결과 또한 SiH<sub>4</sub>기체 주입 간격 사이에 존재하는 H<sub>2</sub> plasma가 박막의 형성 시 미만족 결합(dangling bond)의 비율을 줄이고 SiH<sub>3</sub> 라디칼의 결정 형성에 필요한 결합(Si-SiH<sub>3</sub>)비율을 향상 시킨 것으로 예상된다. 제안한 multistep 방식을 통해 SiH<sub>4</sub>기체 8% 비율로 설정했을 시 결정화도를 61.63[%] 향상 시키고 동시에 0.8[nm/s]의 증착률을 확보할 수가 있었다.

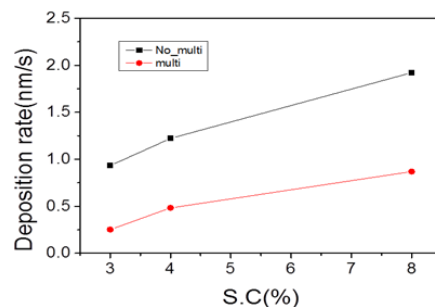


그림 13 Multistep 방식을 적용한 SiH<sub>4</sub>기체 농도 변화에 따른 증착률 변화  
 Fig. 13 Deposition rate according to change in SiH<sub>4</sub> concentration in multistep method

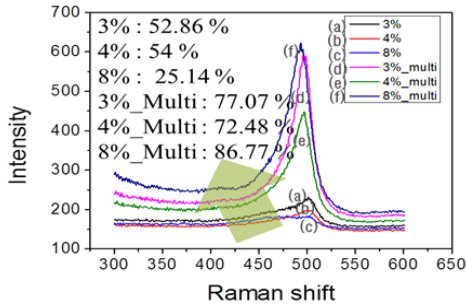


그림 14 Multistep 방식을 적용한 SiH<sub>4</sub>기체 농도 변화에 따른 결정화도 변화

Fig. 14 Raman spectrum according to change in SiH<sub>4</sub> concentration in multistep method

**3.4.2 SiH<sub>4</sub> 기체 주입 Pulse ratio에 따른 multistep 특성 변화**

Multistep 방식에서 SiH<sub>4</sub>주입 Pulse ratio 변화에 따른 증착률과 결정화도 변화는 그림 15, 16과 같다. 증착 시 전체 기체(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)에 대한 SiH<sub>4</sub>기체 비율은 8%로 설정하였고 RF 입력 파워는 300[W]로 설정하였다. 반응 용기 내의 전체 압력(SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>)은 6[Torr] 히터 온도는 200[°C]로 설정하였다. SiH<sub>4</sub>기체가 주입되는 간격은 제어를 위한 펄스 신호의 주기는 20[s]로 설정하였고 Duty ratio는 30%, 50%, 70%, C.W(continuous wave)로 가변 하였다. 증착 시간은 5[min]으로 동일하게 설정하였다.

Duty ratio가 감소할수록, 즉 SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub> 혼합 Plasma의 비율이 낮아지고 H<sub>2</sub> plasma비율이 높아질수록 증착률은 감소하고 결정화도는 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과

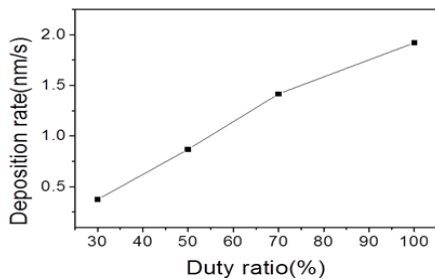


그림 15 SiH<sub>4</sub>주입 Pulse ratio 따른 증착률 변화  
Fig. 15 Deposition rate according to change in pulse ratio of SiH<sub>4</sub> input in multistep method

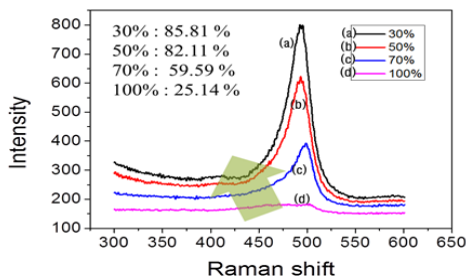


그림 16 SiH<sub>4</sub>주입 Pulse ratio 따른 결정화도 변화  
Fig. 16 Raman spectrum according to change in pulse ratio of SiH<sub>4</sub> input in multistep method

는 앞서 제시한 multi step 효과에서 설명한 것처럼 H<sub>2</sub> plasma처리(H<sub>2</sub> plasma treatment)에 의한 것으로 예상할 수 있다. Duty ratio가 감소할수록 H<sub>2</sub> plasma처리 시간이 길어지고 이에 따라 H<sub>2</sub> plasma에 의한 식각(etching) 작용과 미만족 결합의 비율 감소로 인하여 증착률은 감소하고 결정화도는 증가된 것으로 예측할 수 있다.

**3.4.3 multistep 방식을 적용한 uc Si:H 박막의 전기적 특성 분석**

multistep 방식을 적용한 uc-Si:H 박막의 IV Curve를 그림 17, 18, 19, 20에 나타내었다. 전기전도도 특성은 SiH<sub>4</sub>기체 비율 4%, 8% 두 경우에서 각각 multistep을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 샘플을 제작하여 측정을 진행하였다. Dark Current와 Photo Current 측정 시 -10~10[V] 전압을 인가하여 전류의 변화를 기록하였고 Photo Current 측정 시에는 150[W] 인공 광원을 조사하였다.

측정 결과 Dark conductivity와 Photo conductivity가 평균 ~10<sup>3</sup>의 차이를 나타내었다. Dark conductivity 측정 시는 전류의 변화가 미비했는데 이는 Dark conductivity 측정 시에는 외부에서 조사된 광원이 없기 때문에 전자들의 에너지 밴드를 이동할 에너지를 충분히 가지지 못하기 때문에 전류의 변화가 미비한 것으로 예측할 수 있다. photo conductivity의 경우 SiH<sub>4</sub>기체 비율 8% 샘플의 경우 multistep을 적용하지 않았을 때 5.42\*10<sup>-7</sup>[S/m<sup>3</sup>]을 나타내었고 multistep을 적용한 경우에는 9.43\*10<sup>-7</sup>[S/m<sup>3</sup>]로 전기전도도가 약 1.74배 증가함을 확인할 수 있었다. SiH<sub>4</sub>기체 비율 4% 샘플의 경우에는 multistep을 적용하지 않았을 때 photo conductivity가 2.26\*10<sup>-7</sup>[S/m<sup>3</sup>]multistep을 적용한 경우에는 14.3\*10<sup>-7</sup>[S/m<sup>3</sup>]로 전기전도도가 약 6.32배 증가함을 확인할 수 있었는데 증가 비율이 8% 경우보다 높게 나타났다.

이러한 결과를 통해 multistep 방식을 적용하면 박막 내의 존재하고 있는 미만족 결합(dangling bond)과 같은 결합

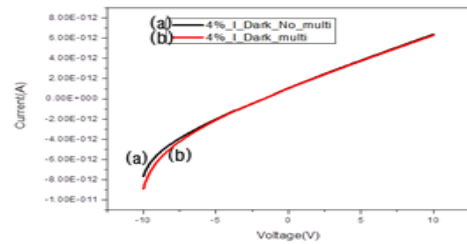


그림 17 4% Dark IV 곡선  
Fig. 17 4% Dark IV Curve

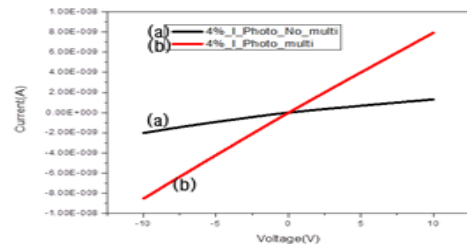


그림 18 4% Photo IV 곡선  
Fig. 18 4% Photo IV Curve

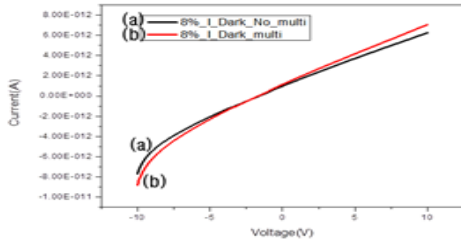


그림 19 8% Dark IV 곡선  
Fig. 19 8% Dark IV Curve

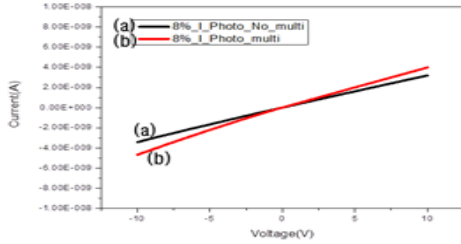


그림 20 8% Photo IV 곡선  
Fig. 20 8% Photo IV Curve

밀도가 감소되고 이로 인해 박막 내의 전자 이동도(electron mobility)가 증가하여 전기 전도도가 증가함을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 용량성 결합 플라즈마를 적용한 PECVD 장비를 이용하여 미세 결정질을 포함하고 있는 수소화된 실리콘 박막을 증착하고 SiH<sub>4</sub> 기체 비율, RF 입력 파워, 히터 온도 변화에 따른 박막의 특성을 분석하였다.

특성 분석 결과, SiH<sub>4</sub> 기체 비율이 증가할수록 박막 증착률은 증가하지만 결정화도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 SiH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>혼합 플라즈마에서 SiH<sub>4</sub>기체 비율이 증가할수록 증착 반응에 참여하는 라디칼 중(SiH<sub>3</sub>)의 밀도가 증가하게 되어 증착률이 증가한 것으로 예상할 수 있었다. 이와 반대로 결정화도는 H<sub>2</sub> 기체 비율이 높을수록 증가하는 경향을 나타내었는데 H<sub>2</sub> 기체 라디칼들이 증착되는 박막의 결합 밀도를 낮추고 동시에 Si-SiH<sub>3</sub>결합 확률을 높이는 역할을 한 것으로 예측할 수 있었다.

RF 입력 파워 변화의 경우에는 입력 파워가 증가할수록 증착률과 결정화도가 같이 증가하는 경향을 나타내다가 입력 파워 300[W] 영역에서 증착률과 결정화도가 포화되는 경향을 나타내었다.

히터 온도 변화의 경우에는 히터 온도가 250[°C] 영역에서 증착률을 포화되고 이후로는 감소하는 경향을 나타내었고 결정화도는 250[°C] 영역에서부터 증가하는 경향을 나타내었다.

본 연구에서 제안하는 multi step 방식의 경우에는 SiH<sub>4</sub> 기체 비율이 각각 3%, 4%, 8%일때의 경우를 비교 분석하였는데 세 가지의 경우 모두 증착률은 계산 했던 것보다 감소하고 증착률은 20~60% 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한

결과는 SiH<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>혼합 플라즈마 사이에 존재하는 H<sub>2</sub>플라즈마가 성장되고 있는 박막을 식각하면서 박막에 존재하는 미만족 결합 등의 결합 밀도를 감소시켜 Si-SiH<sub>3</sub>결합 확률을 높이는 역할을 한 것으로 예측할 수 있었다.

증착된 박막의 전기적인 특성을 알아보기 위하여 증착된 박막 위에 알루미늄 전극을 증착하여 Dark conductivity와 photo conductivity를 측정하였다. 실험은 SiH<sub>4</sub>기체 비율 4%와 8% 두 가지의 경우를 비교 분석하였다. 실험 결과 dark conductivity의 경우에는 multistep 방식의 유무와 상관없이 일정한 값을 나타내었고 photo conductivity의 경우에는 4% 샘플의 경우 약 6.32배, 8% 샘플의 경우에는 약 1.74배 전기 전도도 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 multistep 방식이 단순히 박막의 결정화도를 높이는 것뿐만 아니라 박막의 막질이나 특성까지 향상 시키는 효과를 나타냄을 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

#### References

- [1] J. C. Lee, Y. S. Chung, S. K. Kim, K. H. Yoon, J. Song, I. J. Park, S. W. Kwon, K. S. Lim, "Microcrystalline Silicon Thin-film(uc-Si:H) and Solar Cells prepared at Low Temperature by 60MHz PECVD", KIEE, 1595-1597, (2003)
- [2] W. Spear and P. LeComber, Solid State Comm. 17, 1193 (1975)
- [3] D.L. Staebler and C.R. Wronski, APL 31, 292 (1977)
- [4] A.V. Shah, J. Meier, E. Vallat-Sauvain, N. Wyrsh, U. Kroll, C. Droz, U. Graf, Solar Energy Materials & Solar Cells 78 (2003) 469.491
- [5] O. Vetterl, et al, Solar Energy Materials and Solar Cells 62 (2000), 97-108

#### 저 자 소 개



#### 김 태 환 (金 兌 道)

1986년 10월 25일생. 인제대 공대 나노공학과 졸업. 2012년 부산대학교 대학원 공대 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정  
Tel : 051-510-1544  
Fax : 051-510-1498  
E-mail : gowhpd777@naver.com



**김 동 현 (金 東 鉉)**

1961년 1월 9일생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 현재 부산대 PDP 연구소 연구원

Tel : 051-510-1544

Fax : 051-510-1498

E-mail : dhkim11@pusan.ac.kr



**이 호 준 (李 晸 駿)**

1966년 10월 14일생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학부과 졸업(공박). 현재 부산대 공대 전자전기컴퓨터공학과 정교수

Tel : 051-510-2301

Fax : 051-513-0212

E-mail : hedo@pusan.ac.kr