

# 박막트랜지스터에 의해 구동되는 이미지센서

허창우\*

## The Image Sensor Operating by Thin Film Transistor

Chang-wu Hur\*

### 요 약

본 연구에서는 비정질 실리콘 박막 트랜지스터를 스위칭소자로 포토센서를 구동 하는 방식의 이미지 센서를 구현하고자 한다. 먼저 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 진공 증착장비로 최적의 비정질실리콘 박막을 형성하고, 이 박막을 이용하여 스위칭소자인 박막트랜지스터와 광전변환소자인 광다이오드를 제조한다. 또한 이들을 결합하여 이미지 센서를 형성하고 그 특성 및 동작을 분석하고 최적의 동작특성을 이끌 수 있는 밀착 이미지 센서를 제조한다. 제작한 이미지 센서를 측정된 결과 광전변환소자인 photodiode는 암전류의 경우  $\sim 10^{-12}A$  정도였으며, 광전류  $\sim 10^{-9}A$  정도로서  $I_{photo}/I_{dark} \geq 10^3$  이상을 이루어 좋은 광전변환 특성을 갖고 있었다. 또한 a-Si:H TFT의 경우  $I_{off} \leq 10^{-12}A$ ,  $I_{on} \geq 10^6A$  으로서  $I_{on}/I_{off} \geq 10^6$  이상을 나타냈으며  $V_{th}$ 는 2~4 volts였고,  $I_d$ 는 수  $\mu A$  정도로 photodiode를 스위치하기에 충분한 전류-전압특성을 나타내고 있다. 이미지 센서 전체 동작 특성을 측정하기 위하여 photodiode의 ITO쪽에 -5volts의 역 bias를 가한 상태에서 TFT의 gate에 70  $\mu sec$ 의 pulse를 가하여 photodiode에서 생성된 광전류와 암전류를 측정하였다. 이렇게 하여 측정된 전압은 암상태에서 수십 mvolts이고, 광상태에서는 수백 mvolts로 나타나 우수한 이미지센서 특성을 갖고 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

In this paper, the image sensor using the a-Si:H TFT is proposed. The optimum amorphous silicon thin film is deposited using plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD). TFT and photodiode both with the thin film are fabricated and form image sensor. The photodiode shows that  $I_{dark}$  is  $10^{-12}A$ ,  $I_{photo}$  is  $10^9A$  and  $I_{photo}/I_{dark}$  is  $10^3$ , respectively. In the case of a-Si:H TFT, it indicates that  $I_{on}/I_{off}$  is  $10^6$ , the drain current is a few  $\mu A$  and  $V_{th}$  is 2 ~ 4 volts. For the analysis on the fabricated image sensor, the reverse bias of -5 voltage in ITO of photodiode and 70  $\mu sec$  pulse in the gate of TFT are applied. The image sensor with good property was conformed through the measured photo/dark current.

### 키워드

image sensor, a-Si:H TFT, a-Si:H Photodiode, PECVD

### I. 서 론

Image 소자에 대한 TFT 적용의 첫 번째 시도는 1976년 P.K. Weimer에 의해 시작되었다. 이후 c-Si IC 기술과 전하 전송소자의 급격한 발전으로 인해 얇은 막 기술에 의해

얇은 막 기술에 의한 Image소자의 관심이 감소되었다.

종래 광전변환 소자로서 CCD나 MOS 형의 IC Image Sensor를 사용하여 이것과 축소 렌즈 계를 조합시켜 원고를 해독하는 밀착형 Image Sensor가 추진되었는데 이는 장치 내에 30cm전후의 광로 길이를 확보할 필요가 생겨

장치의 소형화에는 한도가 있다.

그런데 최근 밀착형 Image Sensor로서 원고와 동일 size의 대형 Image Sensor를 제작하여 원고와 거의 밀착시켜 사용하므로써 장치의 대폭적인 소형화를 달성할 수 있어 얇은 막 기술이 제고 되어왔다.

짧은 광 응답 시간과 제조의 간소화 및 안정성의 면에서 a-Si:H이 적당한 물질이다. 종래의 a-Si:H를 사용한 밀착형 Image Sensor는 a-Si:H Photodiode 와 IC Scanner로 구성되어서 많은 수의 Wire bonding과 IC chip이 요구된다. 즉, 하나의 readout chip이 128개 Photodiode 와 연결되어 있다면 300dpi(dot per inch), A4 크기인 경우에 21 readout chip 과 2688 개의 wire bonding 이 필요하게 된다. 많은 수의 readout chip 이 요구됨으로 인하여 제조단가의 불합리성과 Photodiode와 IC chip을 연결하는 많은 수의 wire bonding으로 인한 수율이 문제점으로 지적 되었다. 이런 제조상의 어려움을 피하기 위해 M.Matsumura 등은 a-Si:H TFT와 연결된 linear Image Sensor를 제한했다. 이것은 같은 유리기판에 photodiode array 와 각 센서에 할당된 TFT array와 같은 switching소자를 함께 증착 시켜서 실현시킬 수 있으며, 단지 하나의 readout chip 만으로 구동이 가능하게 설계할 수 있어 결국 약 150개로 크게 감소된 wire bonding 만이 필요하게 된다.

TFT(Thin Film Transistor)로 구동되는 sensor는 개개의 TFT로 동일한 유리 기판 상에서 소자들이 서로 연결되기 때문에 Device 전체 소형화가 가능하다.

본 연구에서는 최근 광전변환소자로써 관심이 고조되고 있는 수소화된 비정질실리콘을 박막화하여 광을 검출할 수 있는 소자로써 활용하기 위하여 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)진공증착 장비를 이용하여 수소화된 비정질실리콘을 박막화한다. 낮은 압전도도와 높은 광전도도를 갖는 수소화된 비정질실리콘박막을 구하기 위하여 증착조건 변수를 최적화하여 최상의 광검출기를 제조하고자 한다.

본 연구에서는 사일렌(SiH<sub>4</sub>)가스를 사용해서 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 진공 증착장비로 최적의 비정질실리콘 박막을 제조한다.

박막증착 조건을 확립하기 위하여 반응실의 진공도, rf 전력, SiH<sub>4</sub> 가스의 flow rate 등을 변화시켜 최적의 증착 조건을 확립한다.

이렇게 확립된 증착조건을 사용하여 박막트랜지스터 및 광다이오드 소자를 제작한다. 제작된 각각의 소자 및

박막트랜지스터에 의해 광다이오드 소자를 동작시켜 이미징 센서의 특성을 측정 한 결과 우수한 성능을 나타냈음을 확인하였다.

## II. TFT 제조 및 특성

비정질실리콘(a-Si:H)은 Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition(PECVD) 방법으로 증착 하였다. 증착 조건(SiH<sub>4</sub> 유량, Chamber 압력, RF Power, 기판온도)에 따라 비정질실리콘의 전도도, Optical Band Gap, 증착율 등 전기 광학적 특성이 달라진다.

비정질실리콘의 증착조건을 달리 하여 실험했을 때 SiH<sub>4</sub> 유량에 따라 Photo 및 Dark Conductivity 는 감소하며, Dark Conductivity 의 경우  $10^9 \sim 10^{11}$  (S/cm), Photo Conductivity 의 경우  $10^4 \sim 10^6$  (S/cm) 내에서 변화 하였다. 또한 Optical Band Gap 은 1.7 ~ 1.8 eV 로써 SiH<sub>4</sub> 의 유량이 증가함에 따라 1.0에서 6.0 (Å/sec)의 증착율로 증가한다. 이상과 같이 SiH<sub>4</sub> 의 유량에 따라 전도율과 Optical Band Gap 사이에는 Trade off 관계가 있어 원하는 전도도 및 Optical Band Gap을 SiH<sub>4</sub> 의 유량으로써 조절 할 수 있다. 그러나 Chamber 압력에 대해서는 전도도 및 Optical Band Gap은 변화가 거의 없었으며 증착율은 1.0 ~ 3.0 (Å/sec) 정도로 압력에 비례하였다. 또한 RF 전력에 대해서도 전기 광학적 특성 변화는 거의 없다.

게이트 절연층 및 Passivation 막인 a-SiN:H 박막은 SiH<sub>4</sub> 가스와 NH<sub>3</sub> 가스를 혼합하여 PECVD 법으로 제작하였다.

본 실험에서는 Corning 7059 Glass를 기판으로 게이트 전극(Cr)을 1500 Å 정도 증착하여 Length ~ 10 μm, Width ~ 100 μm 의 크기로 Pattern 하여 게이트 전극을 형성 하였다. 게이트 전극 위에 a-SiN:H, a-Si:H, a-SiN:H 등을 연속하여 증착하였다. 이때 각 박막의 두께는 a-SiN:H: 1500 Å, a-Si:H: 1500 Å, n+a-Si:H: 500 Å 으로 형성 하였다. 여기서 a-Si:H, n+a-Si:H층을 패터닝하고, 그 위에 소오스-드레인 전극으로 Cr 을 증착 한 후 패터닝한다. 드레인과 소오스사이의 n+a-Si:H층을 dry etching 으로 식각 한 후 passivation 막으로 a-SiN:H 증착 및 thru-hole 을 패터닝 한다.

이렇게 제작된 박막트랜지스터의 전기적 특성을 측정하기 위하여 KARL SUSS (독일) 제품의 Probe Station 과

Kithley 제품의 4145A Parameter Analyser 측정 장치를 사용하여 shielding box 내에서 I-V 특성,  $V_{th}$ ,  $I_{on}/I_{off}$  등의 특성을 구하였다. (그림1)

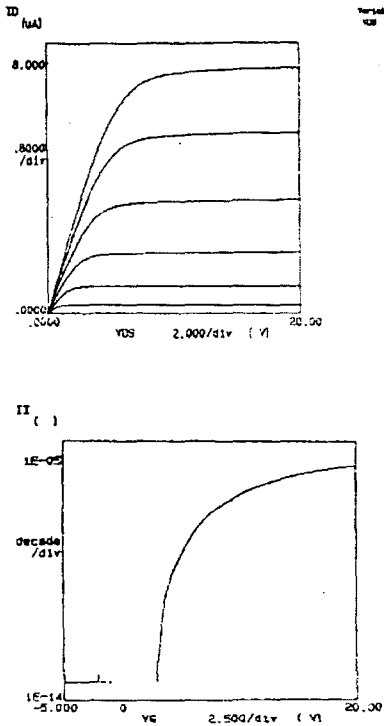
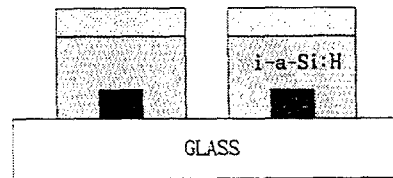


그림1. TFT의 I-V,  $I_{on}/I_{off}$  특성  
Fig.1 I-V,  $I_{on}/I_{off}$  properties of TFT

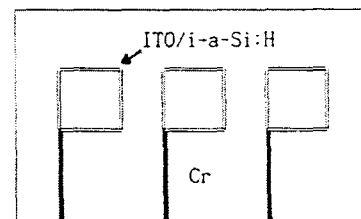
유량등)에 따라 수소결합 상태가 변화하고 수소 결합 상태에 의해서 박막의 전기적, 광학적 물성이 현저하게 변하므로 소자로서 응용하기 위한 박막을 제조하기 위해서는 여러 증착조건에서 실험하여 최적의 증착조건을 구해야한다.

PD의 제조공정은 다음과 같다.

- (1) 기판으로 coming 77059 glass 세척
- (2) 하부전극 Cr 증착 및 patterning
- (3) PD 활성층인 i-a-Si:H 증착
- (4) 상부 투명전극 ITO 증착
- (5) i-a-Si:H 및 ITO patterning
- (6) Read-out 전극 Al 증착 및 patterning



(a) 단면도



(b) 평면도

그림 2. PD의 단면 및 평면도  
Fig 2. cross section, plane figure of PD

### III. 광다이오드의 제조 및 특성

PD a-Si:H박막의 증착 방법으로도 PECVD에 의한 플라즈마 방전 화학적 증착기술을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 PECVD장치는 로타리 및 부스터펌프를 사용하고  $\sim 10^{-3}$  Torr 정도의 최저진공에 도달할 수 있다. 글로우 방전 플라즈마 증착기술의 장점은 가스 화학 반응이 비교적 낮은 기판온도 ( $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ )와 낮은 반응실 압력(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

PD의 특성은 semiconductor parameter analyzer (4145) 장비를 이용하여 shielding box내에서 측정하였다.

ITO에 negative 전압을 가할 경우가 역방향 bias 형태가 되어 이때의 광전류와 암전류의 비가 중요한 인자가 된다.

blocking 접합으로 광전류의 gain이 1을 넘지 못하게 된다. 또한 ITO/a-Si 막과의 schottky 장벽으로 전자 주입이 방지되고, Cr/a-Si 막과의 계면에서는 페르미 준위가

midgap 준위보다 약간 높기 때문에 a-Si:H막에서의 hole 전도가 무시되어 인가전압에 거의 관계없이 전류가 포화가 된다.

한편 forward bias 상태일 경우 암전류가 bias에 따라 약간 증가하게 되는데 이것은 a-Si/Cr 계면의 장벽이 ITO/a-Si 계면의 장벽보다 상대적으로 낮기 때문인 것으로 사료된다. reverse 상태에서 광전류/암전류 비는 10이상 차이를 보여 매우 우수한 특성을 나타낸다고 볼 수 있다.

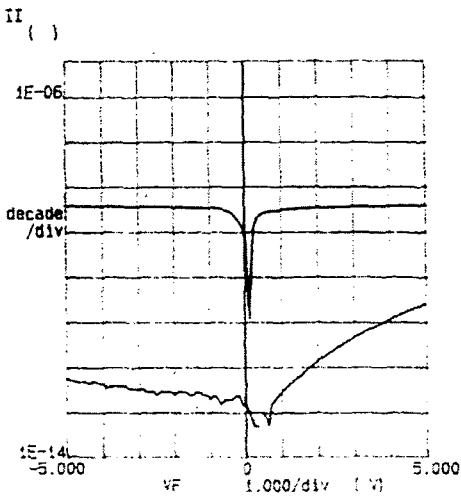


그림 3. PD의 광,암전류 (Iphoto/Idark) 특성  
Fig. 3. Iphoto/Idark property of PD

#### IV. TFT 구동 photodiode

TFT 구동 photodiode에 대한 공정 flow를 <그림4>에 나타내었으며 단면도를 <그림5>에 그리고 <그림6>에 각 단계별 사진을 보였다.

앞의 공정으로 제작한 TFT 구동 photodiode에 대한 동작 특성을 측정키 위해 투명전극 ITO에 연결된 Al 전극에 고정 역 bias -5V를 voltage source를 사용하여 인가하고 TFT의 gate쪽에 pulse generator 장비를 이용하여 일정한 주기의 pulse를 가하면서 drain 전극 쪽에서 signal을 oscilloscope 화면으로 보았다.

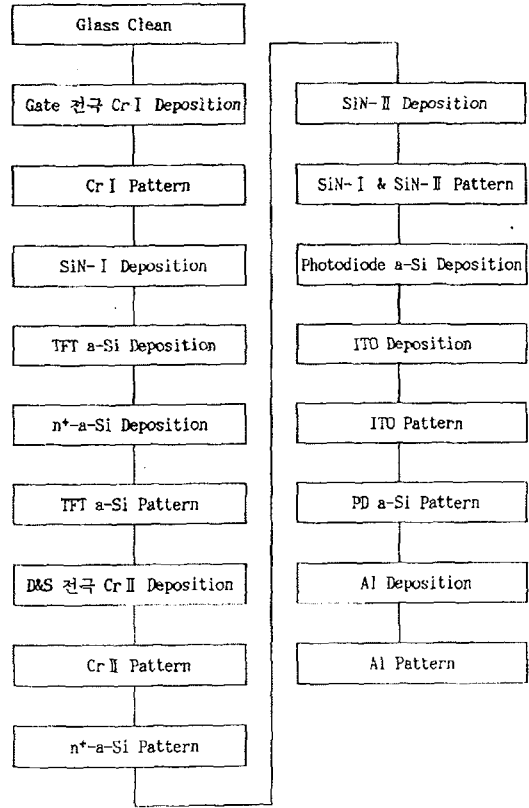


그림 4. TFT 구동 photodiode의 공정 순서  
Fig.4. process of photodiode operating by TFT

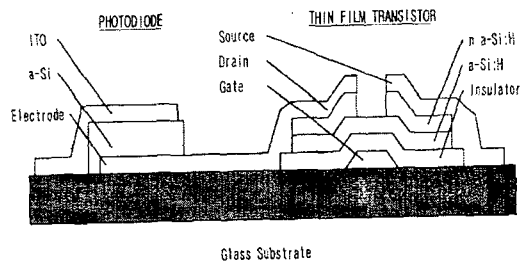


그림 5. TFT 구동 photodiode의 단면도  
Fig. 5. cross section of photodiode operating by TFT

이때 측정된 값을 <그림7>에 그려보았다.

<그림7>에서 보면 pulse주기가 5ms이고, Vphoto=170mV, Vdark=20mV가 측정되어 이 값을 증폭시키면 이미징센서로서 충분한 grey scale을 얻을 수 있을 것이다.

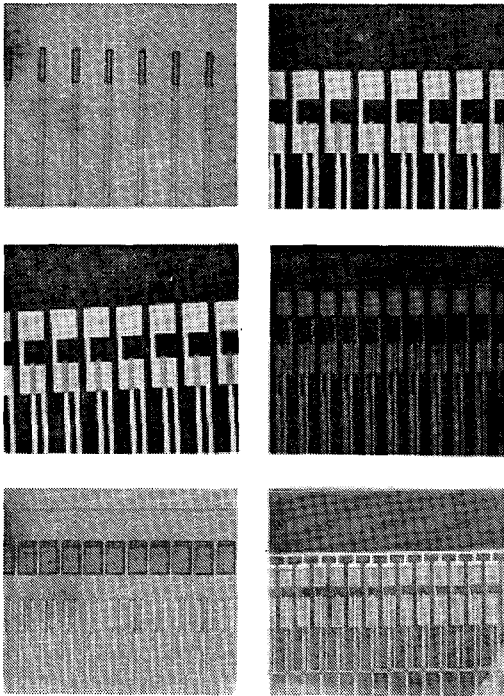


그림 6. TFT구동 photodiode의 각 단계별 사진  
Fig. 6 picture of photodiode operating by TFT

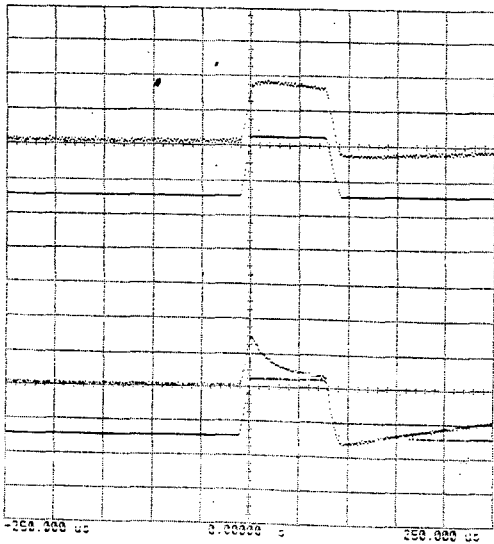


그림 7. TFT구동 photodiode의 특성  
Fig.7. property of photodiode operating by TFT

## V. 결 론

a-Si:H 박막은 기관의 제약이 없이 대면적으로 형성할 수 있으며, 광전변환 특성이 우수하여 FAX용 image sensor로서 매우 적합한 재료이다.

본 연구에서는 a-Si:H 박막기술을 이용하여 image sensor를 개발하였다. a-Si:H이 우수한 광전변환 특성을 이용하여 photodiode를 형성하였고, 이 photodiode의 전하를 순차적으로 이동시키기 위하여 각각의 photodiode에 TFT를 결합하여 이미지센서를 구현하였다.

본 연구에서 개발한 박막 재료 층은 Cr, Al, ITO, a-Si:H, na-Si:H 그리고 a-SiN:H등이 있으며, 현재까지 구한 특성은 Cr의 경우 비저항이 35cm, Al은 3cm, ITO는 300cm이었으며 30cm X 30cm에서 5%이내의 uniformity를 이루었다. photodiode는 암전류의 경우  $\sim 10^{-12}$ A 정도였으며, 광전류  $\sim 10^{-9}$ A 정도로서  $I_{photo}/I_{dark} \geq 10^3$  이상을 이루어 좋은 광전변환 특성을 갖고 있었다. 또한 photodiode를 순차적으로 주사하기 위한 a-Si:H TFT의 경우  $I_{off} \leq 10^{-12}$ A,  $I_{on} \geq 10^{-6}$ A 으로서  $I_{on}/I_{off} \geq 10^6$  이상을 나타냈으며  $V_{th}$ 는 2~4 volts였고,  $I_d$ 는 수  $\mu$ A 정도로 photodiode를 스위치하기 충분한 전류-전압특성을 나타내고 있다. 이미지센서전체 동작 특성을 측정하기 위하여 photodiode의 ITO쪽에 -5volts의 역 bias를 가한 상태에서 TFT의 gate에 70sec의 pulse를 가하여 photodiode에서 생성된 광전류 또는 암전류를 TFT의 drain단에 10  $\mu$ F의 capacitor를 연결하여 전압을 측정하였다. 이렇게 하여 측정된 전압은 암상태에서 수십 mvolts이고, 광상태에서는 수백 mvolts로 나타나 이후 voltage follower 증폭단에서 증폭하여 수volts로 만들어 측정하였다

이와 같이 본 연구에서는 비정질 실리콘 박막 트랜지스터와 광센서를 결합하여 제조하고 구동시켜 특성 및 동작을 살펴보았다. 분석결과 Switching 소자로 TFT를 이용한 구동방식은 아주 우수한 특성을 이룰 수 있음을 제시하게 되었다.

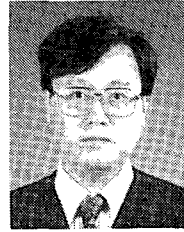
## 참고문헌

- [1] S.Ri, H.Fujioka, K.Fujino, "a-Si:H image sensor : Characteristics of an ITO/a-Si:H junction," MRS, Vol.118, 1998, pp.451-455

- [3] J.McGill, O.Prache, "a-Si:H alloy contact image sensor," *SID Digest*, 1989, pp.252-255.
- [4] B.W.Park, J.L.Choi, and C.W.Hur, "Micro-crystal silicon in image sensor," *MIRS*, vol.283, 1992, pp.609-612.
- [5] K. Aflatooni, R. Hornsey, A. Nathan, "Reverse current instabilities in amorphous silicon Schottky diodes: modeling and experiments," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol.46, 1999, pp.1417-1422.
- [6] Q. Ma, "ITO/a-Si:H Schottky photodiode with low leakage current and high stability," *Mat.Res.Soc. Symposium B*, Sanfrancisco, April, 1999, pp.5-9.
- [7] A. Nathan, "High performance Schottkyphotodiode based on polycrystalline ITO deposited at room temperature," *IEEE Workshop on Charge-Coupled Devices and Advanced Omage Sensor*, Karuizawa, Japan, June, 1999, pp. 10-12.
- [8] 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.

### 저자소개

#### 허창우(Chang-wu Hur)



1991.2 연세대학교 전자공학과  
공학박사

1986.9 ~ 1994.2 LG 중앙 연구소

1994.3 ~ 현재 목원대학교

보전자영상공학부 교수

※ 관심분야: 반도체공학 및 VLSI 설계