
정류성 접합에 의한 광다이오드의 특성 개선

허창우*

The Characteristic Improvement of Photodiode by Schottky Contact

Chang-wu Hur*

요 약

비정질실리콘은 빛을 받으면 자유전자와 자유정공이 무수히 발생하여 전류 또는 전압의 형태로 나타나는 광전변환 재료이다. 이를 광다이오드로 사용하기 위해서는 금속 박막(Thin Film)과 결합하여 쇼트키 다이오드로 만드는 기술이 효과적이다.

본 연구에서는 광다이오드의 신뢰성 및 특성을 개선하기 위하여 크롬실리사이드를 기존의 방식과 달리 하부 전극으로 크롬금속 박막을 증착한 후 그 위에 사일렌(SiH₄)가스를 사용해서 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 진공 증착장비로 최적의 비정질실리콘 박막을 얇게 (100Å) 만들어 열처리를 통하여 크롬실리사이드 박막을 형성 한 후 광다이오드 소자를 제조 한다. 이렇게 형성된 크롬실리사이드 광 다이오드를 사용하여 암전류와 광전류를 측정 한 결과 기존의 방식 보다 우수한 성능이 나타났고, 공정도 단순화 할 수 있었으며 그리고 신뢰성도 개선되었다.

Abstract

In this paper, a photodiode capable of obtaining a sufficient photo/ dark current ratio at both a forward bias state and a reverse bias state is proposed. The photodiode includes a glass substrate, an Cr thin film formed as a lower electrode over the glass substrate, Cr silicide thin film (~100Å) formed as a schottky barrier over the Cr thin film, a hydrogenated amorphous silicon film formed as a photo conduction layer over a portion of the Cr silicide thin film. Transparent conduction film ITO (thickness 100nm) formed as an upper electrode over the hydro-generated amorphous silicon film is then deposited in pure argon at room temperature for the Schottky contact and light window. The high quality Cr silicide thin film using annealing of Cr and a-Si:H is formed and analyzed by experiment. We have obtained the film with a superior characteristics.

The dark current of the ITO/a-Si:H Schottky at a reverse bias of -5V is ~3X10⁻¹² A/cm², and one of the lowest reported, hitherto. AES(Auger Electron Spectroscopy) measurements indicate that this notable improvement in device characteristics stems from reduced diffusion of oxygen, rather than indium, from the ITO into the a-Si:H layer, thus, preserving the integrity of the Schottky interface. The spectral response of the photodiode for wavelengths in the range from 400nm to 800nm shows the expected behavior whereby the photocurrent is governed by the absorption characteristics of a-Si:H.

키워드

a-Si:H, schottky barrier, Cr silicide thin film, annealing, AES(Auger Electron Spectroscopy)

1. 서 론

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 비결정 에서도 원자들 간에 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 분야에서 박막 개발은 상당한 성과를 이루고 있다.

특히 수소화된 비정질실리콘(hydrogenated amorphous silicon, a-Si:H)은 비정질실리콘의 dangling bond를 수소와 결합하여 국부적준위(localized states)를 감소시킴으로써 양질의 a-Si:H 박막을 제조할 수 있다.

수소화된 비정질실리콘은 결정질실리콘에 비하여 캐리어의 이동도 및 암전도도 등의 전기적특성은 비교적 낮은 반면에 광흡수계수, 광학적 밴드갭(optical bandgap) 및 광전도도 등의 광학적특성은 우수하기 때문에 그광학적 특성을 이용하여 태양전지, LCD[1][2], 복사기, pc용 scanner, facsimile 그리고 센서등 소자의 개발이 확대되고 있다.

수소화된 비정질 실리콘 (a-Si:H)은 가장 상업적으로 성공한 최초의 박막 형태의 광다이오드이다.

아직은 1980년대부터 예상되어왔던 만큼의 광효율은 현재 보이지 않고 있다. 그 이유는 빛을 받을 때 a-Si이 상당히 intrinsic degradation 되기 때문이다. 빛을 받을 때 발생하는 intrinsic degradation은 약 20%정도로 제한될 수 있다. 따라서 재료의 가공기술과 디바이스 디자인을 얼마나 발전시키는 가가 a-Si의 광효율을 안정화 시키는 관건이 된다.

본 논문에서는 수소화된 비정질실리콘 광다이오드에 크롬실리사이드를 기존의 방식과 달리 하부 전극으로 크롬금속 박막을 증착한 후 그 위에 사일렌(SiH4)가스를 사용해서 PECVD진공 증착장비로 최적의 비정질실리콘 박막을 얇게(100Å) 만들어 열처리를 통하여 크롬실리사이드 박막을 형성 한 후 최적화하여 최상의 광검출기를 제조하고자 한다.

II. 크롬실리사이드 광 다이오드 제조

본 실험에서는 CORNING 7059 GLASS(5cm X

5cm) 및 Si wafer를 기판으로 사용하고 TCE,ACETON,ALCOHOL,D.I.WATER 등으로 각 5분 동안 ULTRASONIC 으로 세척한후 N2로 D.I. WATER BUBBLING 을 30분 정도 시행 한후 N2 DRY 로 액질하고 IR LAMP 로 건조하여 기판을 준비하였다.

광다이오드의 전극은 비정질실리콘과의 접합특성 때문에 재료의 특성과 전극이 형성되는 과정에서 필요한 조건이 매우 까다롭다. 광다이오드의 하부 전극으로는 일반적으로 Cr 박막이 사용된다.

본 실험에서는 E-BEAM EVAPORATOR(일본 ULVAC 사 제품)를 사용하였다. 이 장비는 저온 펌프를 사용하여 진공도가 10⁻⁶ ~ 10⁻⁷ Torr 정도의 고 진공을 형성 할 수 있으며, 350℃ 정도 까지 IR 램프를 사용하여 가열 할 수 있고, in-나서 fh 증착을 및 두께를 측정 할 수 있도록 되어 있다. 다음 표1 은 Cr 박막 형성 조건이다.

(표 1) Cr 박막의 증착조건
(TABLE1) E-BEAM EVAPORATOR CONDITION OF Cr THIN FILM

재 료	진공 μTorr	전력 mA	기판 온도:℃	증착률 Å/sec	RPM	두께 : Å
Cr	1~2	30	상온	4	20	2,000

막질을 고려하여 본 실험에서는 대부분의 Cr 박막의 증착률을 4Å/sec 정도로 고정시켰다. 하부전극인 Cr 박막의 두께는 2,000Å 고정 하였으며 그림1 은 Cr 박막의 AES(Auger Electron Spectroscopy) 측정 결과이다.

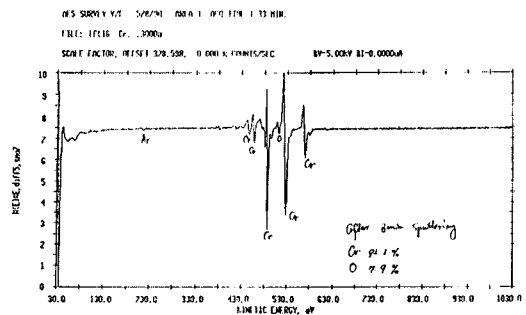


그림1. Cr 박막의 AES 특성
FIG.1 AES characteristics of Cr Thin Film

Cr 실리사이드를 형성하기 위하여 비정질실리콘 박막을 Cr 박막위에 약100Å 증착 한 후 N2 분위기에서 250℃로 30분 ~ 1시간 열처리 하였다. 그 위에 다시 a-Si:H박막을 PECVD 방법으로 10,000

Å 형성하였다.

다음 표2는 각 비정질 실리콘박막의 증착조건이다.

표2. 비정질실리콘 박막의 PECVD 증착 조건
TABLE 2. PECVD DEPOSITION CONDITION OF AMORPHOUS Si THIN FILM

	SiH ₄	압력	온도	시간	전력	두께
단위	sccm	torr	℃	min	W	Å
Cr 실리콘사이드용 a-Si:H	4	0.3	250	0.4	4	100
a-Si:H	4	0.3	250	40	4	10,000

이어서 전 표면에 스퍼터링 장치를 이용하여 ITO를 1000Å 두께 만큼 진공 증착 한 후 광 식각 공정을 이용하여 ITO를 패터닝하고, ITO 영역을 제외한 a-Si:H를 RIE 공정으로 제거 하므로써 포토 다이오드를 형성한다.

본 연구에서 사용한 ITO 박막 제조장치는 DC magnetron sputtering 진공증착장비인 HSD-662M 시스템은 구형 마그네트론 스퍼터링 (Cylindrical magnetron sputtering)이며, 자기장의 세기는 전자에는 영향을 미치고 이온에는 영향을 미치지 못하나, 플라즈마가 균일하게 형성하는 것에 도움을 준다. 주진공 시스템은 Turbo molecular pump를 사용하고, 8 inch 원형의 타겟을 사용하며, 기판의 크기가 300*300mm인 유리기판에서 박막 두께 분포(thickness uniformity)를 ±5%로 제작할 수 있고, 캐리어 가스(carrier gas)로 argon을 반응가스(reactive gas)는 O₂ 와 N₂를 사용할 수 있는 디시 마그네트론 스퍼터 (DC magnetron sputter)로 최대 5kW의 출력을 가진 파워 서플라이가 장착되어 있다. 포토 다이오드용 투명전극은 광투과도와 비저항값이 고려대상이고, 특히 광투과도와 비저항은 O₂ 가스의 사용량에 대해 서로 반비례하는 경향이 있다. 이번 실험에서는 타겟은 In₂O₃:SnO₂의 조성비가 90:10wt%인 것으로 미쓰이 금속(mitsui mining Co.)의 것을 사용하였다.

제작 조건은 표3 과 같다.

표3. 스퍼터링 장치의 투명전극(ITO) 제작조건
TABLE3. SPUTTER CONDITION OF ITO THIN FILM

	Ar	O ₂	온도	Target	전력	두께
단위	sccm	sccm	℃	(In ₂ O ₃ : SnO ₂)	W/cm ²	Å
ITO	50	0.5	200	90:10 wt%	1.85	1000

그림2는 ITO 박막의 AES(Auger Electron Spectroscopy) 측정 결과이다.

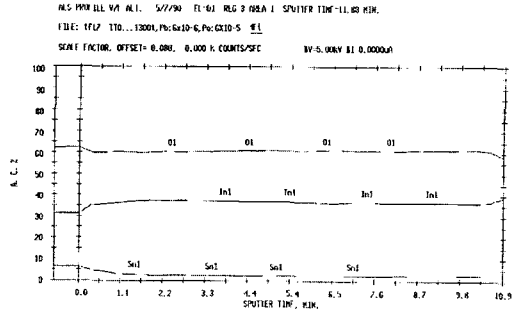


그림2. ITO 박막의 AES 특성
FIG.2 AES characteristics of ITO Thin Film

III. 크롬실리사이드 광 다이오드 구조 및 특성

일반적으로 ITO/a-Si:H/Cr 구조를 갖는 비정질 실리콘 광다이오드는 schottky 효과를 이용하고 있다. 여기서 a-Si:H 는 quasi-schottky 특성을 나타내면서 약 0.55eV 에 해당되는 barrier height를 갖고 있으며,a-Si:H 와 ITO 는 ~0.93 eV 의 barrier height를 갖는 schottky 특성을 이루고 있다. 그러나 Cr의 증착 방식 및 공정에 따라 Cr 과 a-Si:H 계면에서 만족 할만한 쇼트키 효과를 이루지 못하므로 매우 불안정한 소자특성을 나타낸다.

그러므로 Cr 과 a-Si:H 계면을 안정한 쇼트키 특성을 이루고자 하는 시도가 많이 행하여져 왔으며 그 일환으로 Cr 과 a-Si:H 사이에 얇은 Cr 실리콘사이드층을 삽입하여 암 전류를 억제하는데 사용 할 수 있다. 그러나 이 Cr 실리콘사이드층이 두꺼우면 광전류의 흐름도 차단되므로 광 전하를 터널링 할 수 있는 만큼 얇은 막을 성장시키는 기술이 매우 중요하다.

본 연구에서는 약 100Å 정도의 a-Si:H 박막을 증착하여 어닐링공정을 통하여 크롬 박막과 100Å 이하의 얇은 박막을 만들어 확실한 쇼트키특성을 이루고자 하였다.

(그림3)은 본 연구에서 제작한 크롬실리사이드 광 다이오드 구조이다.

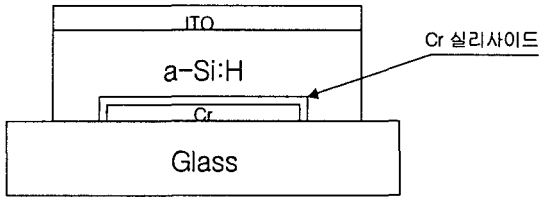


그림3. 크롬실리사이드 광 다이오드 구조
FIG3. Structure of Cr Silicide Photodiode

(그림4)는 본 연구에서 제작한 크롬실리사이드 광 다이오드의 에너지 밴드 구조이다.

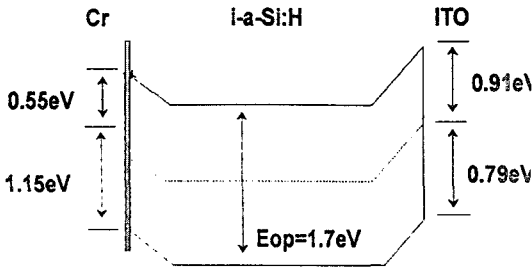


그림4. 크롬실리사이드 광 다이오드의 에너지 밴드 구조
FIG.4. Energyband Diagram of Cr Silicide Photodiode

이와 같이 본 연구는 종래의 결점을 감안하여 크롬위에 크롬 실리사이드를 형성함으로써 포토다이오드 형성 공정을 단순화 할 수 있으며, 포토다이오드의 동작 및 특성을 개선시킬 수 있다.

(그림4)에서 크롬에 "-" 전압을 인가하는 동시에 ITO에 "+" 바이어스를 인가 할 경우 ITO에서 크롬 쪽으로 전류가 흐르는데 이때, 크롬 실리사이드에 의해 쇼트키 장벽이 형성되어 극소량의 전류 즉 10-12 암페어 정도가 흐르게 된다. 이때, ITO에 빛을 조사하게 되면 a-Si:H 박막에서 전하를 발생하여 많은양의 광전류가 흐르게 된다.

다음 그림(그림5)은 크롬실리사이드 광 다이오드의 특성을 나타낸다.

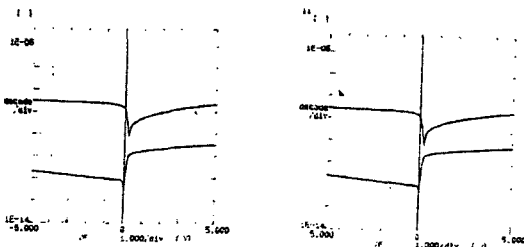


그림5. 크롬실리사이드 광 다이오드의 특성
FIG5. Characteristics of Cr Silicide Photodiode

IV. 결 론

본 연구에서는 광다이오드의 신뢰성 및 특성을 개선하기 위하여 크롬실리사이드를 기존의 방식과 달리 하부 전극으로 크롬금속 박막을 증착한 후 그 위에 사일렌(SiH4)가스를 사용해서 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 진공 증착장비로 최적의 비정질실리콘 박막을 얇게 (100Å) 만들어 열처리를 통하여 크롬실리사이드 박막을 형성 한 후 광다이오드 소자를 제조 하였다.

일반적으로 ITO/a-Si:H/Cr 구조를 갖는 비정질실리콘 광다이오드는 schottky 효과를 이용하고 있다. 여기서 a-Si:H 는 quasi-schottky 특성을 나타내면서 약 0.55eV 에 해당되는 barrier height를 갖고 있으며, a-Si:H 와 ITO 는 ~0.93 eV 의 barrier height를 갖는 schottky 특성을 이루고 있다. 그러나 Cr의 증착 방식 및 공정에 따라 Cr 과 a-Si:H 계면에서 만족 할만한 쇼트키 효과를 이루지 못하므로 매우 불안정한 소자특성을 나타낸다.

그러므로 본 연구에서는 Cr 과 a-Si:H 사이에 얇은 Cr 실리사이드층을 삽입하여 암 전류를 억제하는데 사용 하였다. 그러나 이 Cr 실리사이드층이 두꺼우면 광전류의 흐름도 차단되므로 광 전하를 터널링 할 수 있는 만큼 얇은 막을 성장시켰다.

본 연구에서는 약 100Å 정도의 a-Si:H 박막을 증착하여 어닐링공정을 통하여 크롬 박막과 100Å 이하의 얇은 박막을 만들어 확실한 쇼트키특성을 이루었다. 이렇게 형성된 크롬실리사이드 광 다이오드를 사용하여 암전류와 광전류를 측정된 결과 기존의 방식 보다 우수한 성능이 나타났고, 공정도 단순화 할 수 있었으며 그리고 신뢰성도 개선되었다.

참고문헌

- [1] Chang W. Hur, " Method of Making Thin Film Transistors", United States Patent, Patent No.5,306,653, Apr. 1994.
- [2] B. Park, Process integration of a-Si:H Schottky diode and thin film transistor for low energy x-ray imaging applications, Mat. Res. Soc. Symp. A, April 13-17, 1998.
- [3] 허창우,이문기,김봉열, "강유전성 PbTiO3 박막의 형성 및 계면특성", 대한전자공학회 논문지, 26권 7호, pp.83-89, 1989
- [4] K. Aflatooni, a-Si:H Schottky diode direct detection pixel for large area x-ray imaging,

IEEE IEDM, December 7-10, Washington, D.C., 1997.

- [5] 윤재석,허창우, "게이트 산화막에 따른 n-MOSFET 의 금속 플라즈마 피해", 한국해양정보통신학회 논문지 vol.3,No.2, pp. 471-475,1999.
- [6] 이규정,류광렬,허창우, "산화물 반도체 박막 가스센서 어레이의 제조 및 수율 개선", 한국해양정보통신학회 논문지 vol.6,No.2, pp. 315-322, 2002

저자소개

허창우(Chang-wu Hur)



1991.2 연세대학원 전자공학과
공학박사

1986.9~1994.2 금성사 중앙 연구소

1994.3~현재 : 목원대학교 IT공학부 부교수

※주관심분야 : 반도체공학 및 VLSI 설계