

# 연성 전극을 이용한 대칭형 박막 다이오드 제작

## Fabrication of symmetrical thin film diodes using flexible electrodes

이찬재, 홍성제, 문대규, 한정인

Chan-Jae Lee, Sung-Jei Hong, Dae-Gyu Moon, Jeong-In Han

### Abstract

연성 Al 전극을 이용하여 플라스틱 기판 위에 대칭성 박막 다이오드를 제작하였다. 다이오드의 구조는 Al/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Al의 3층 구조로 되어 있다. 상부 Al 전극 제작시 하부 Al 전극의 손상을 방지하기 위해 無식각 공정을 개발, 적용하였다. Al 전극을 사용한 결과 단단한 Ta 전극에서 나타난 변형 및 균열 문제가 해결되었다. 또한 상부 및 하부의 대칭성 전극 구조로 제작함으로써 I-V 곡선이 완벽한 대칭형의 우수한 전기적 특성을 얻을 수 있었다.

**Key Words :** symmetry, electrode, flexibility, I-V characteristics, threshold voltage

### 1. 서 론

최근 IMT-2000을 위시한 휴대용 정보통신기기 시장이 급격히 팽창하고 있다. IMT-2000용 기기는 고성능의 표시장치가 필요한데, 이러한 휴대정보기기용 표시장치는 가볍고, 화질이 좋아야 하며, 소비전력이 작아야 한다. 이러한 요구조건들을 모두 만족시켜줄 수 있는 소자가 박막 다이오드이다. 박막 다이오드는 Ta, Cr, Ti 등의 금속을 이용한 하부 및 상부 전극과 그 사이에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 이용한 절연막의 3층으로 구성되어 있다 [1]. 박막 다이오드의 장점은 고화질의 동영상을 아주 작은 소비전력으로 구현할 수 있다는 것이다 [2]. 이를 위해선 다이오드의 전류-전압 특성 곡선이 대칭을 이루어야 한다. 그러나 상부 및 하부전극의 소재가 다른 기존 소자의 구조에서는 열처리 등 조건에 따라 대칭성이 큰 영향을 받는다 [3]. 또한 가벼운 요구조건을 만족시키기 위해선 기존의 유리 기판이 아닌 플라스틱 기판을 대체하는 것이 중요하다. 그러나 단단한 물성의 전극을 이용한 기존 소자의 구조를 플라스틱 기판에 적용할 경우 응력, 균열, 변

형 등의 문제가 발생한다 [4].

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 새로운 전극 구조와 공정을 개발하였다. 새로운 전극 구조는 기존의 단단한 소재 대신 연성 Al 소재를 하부 및 상부 전극에 적용한 연성 대칭형 구조이다. 이러한 구조를 제작하기 위해선 기존의 식각 공정을 적용하면 안되는데 이는 상부 전극 식각시 하부 전극이 손상될 수 있기 때문이다. 따라서 상부 전극을 식각하지 않는 공정을 개발하여 박막 다이오드의 제작에 적용하였다. 제작 후 박막 다이오드의 제작 상태 및 전기적 특성을 관찰하였고, 이로써 플라스틱 필름용 대칭형 박막 다이오드 소자의 성능을 최적화하고자 하였다.

### 2. 실험

기판은 크기 7×7cm, 두께 0.1mm의 연성 폴리 카보네이트 기판이 사용되었다. 하부 전극과 상부 전극은 모두 연성 Al 소재로 제작되었다. 기판 위에 하부 전극이 제작된 후 그 위에 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 절연층이 형성되었다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 절연층은 rf 스퍼터링법을 이용하여 제작되었다. 또한 식각용액에 의한 하부 전극의 손상을 방지하기 위해 본 연구에서 개발한 無식각(etch-free)법을 적용하였다. 그 후 Al 상부 전

전자부품연구원 디스플레이연구센터  
경기도 평택시 진위면 마산리 455-6  
FAX : 031-6104-126  
E-mail : chanjael@keti.re.kr

극이 절연막 위에 형성되었는데 이 때에도 스퍼터링 및 無식각법이 적용되었다. 마지막으로 후 열처리 공정이 150°C 이하의 온도로 진행되었다 [2,3]. 이렇게 제작된 소자를 광학현미경 및 전자현미경으로 각각 관찰하였고, HP 4145B 분석기를 이용하여 전류-전압 특성을 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연성 박막 다이오드 설계

박막 다이오드 소자의 전극은 연성 플라스틱 기판에 잘 부합해야 한다. 즉, 열적 및 기계적 특성이 큰 차이가 나지 않아야 한다. 이러한 특성들의 차이가 많이 날 경우 박막과 기판간 열팽창 및 응력이 인가되는 상태에서 변형, 균열 등이 일어날 수 있다. 이 변수들을 기반으로 설계가 이루어졌고, 이로써 스톤니 공식(Stoney's equation)을 사용하여 박막 다이오드의 최적화된 설계가 이루어졌다. 기존 박막 다이오드의 하부 전극의 소재로서 보편적으로 사용되는 Ta는 기계적으로 단단한 특성을 가진다. 따라서 이러한 소재는 연성 기판에는 부합하지 못한다. 그러나 Al은 표 1에서 보는 것과 같이 열팽창계수와 탄성계수가 Ta보다 매우 낮은 값을 가져 연성 플라스틱 기판에 가깝다.

표 1. 열적 및 기계적 특성

Table 1. Thermal and mechanical properties of Ta, Al and Poly-carbonate

	Ta	Al	Poly-carbonate
열팽창계수 (ppm/°C)	6.5	22.4	37~43
탄성계수 (GPa)	140	11.5	5.3

따라서 응력을 최소화하기 위해 Al 소재가 전극으로 사용되었다. Al은 이와 같은 연성 특성 외에도 박막 다이오드의 전극으로서 요구되는 낮은 저항 특성을 가지고 있다 [4]. 연성 Al 전극을 사용하여 연성 박막 다이오드가 설계되었다. 그림 1은 연성 박막 다이오드의 단면 구조를 보여주고 있다. 하부 전극과 상부 전극의 소재가 Al로 동일하고 절연층을 중심으로 대칭형 구조로 되어 있다. 전극 소재가 매우 연하기 때문에 박막 다이오드는 연성 기판에 잘 부합할 것으로 예상된다.

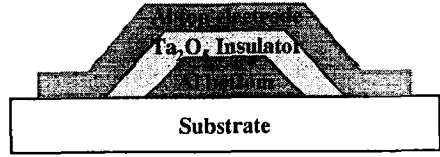


그림 1. 연성 박막 다이오드의 단면 구조

Fig. 1. Cross-sectional view of flexible thin film diode

#### 3.2 연성 박막 다이오드 제작

이렇게 도출된 설계 결과를 이용하여 연성 박막 다이오드를 제작하였다. 우선 폴리 카보네이트 기판 위에 Al 하부 전극 패턴을 형성하였다. Al 박막 전극의 상태와 비교하기 위해 Ta 박막을 동일한 기판 위에 형성하였다. 그림 2에 두가지 소재를 이용한 전극 박막의 상태를 보여주고 있다.



(a) 폴리 카보네이트 기판 위의 Ta 하부전극

(b) 폴리 카보네이트 기판 위의 Al 하부전극

그림 2. 하부 전극의 표면 상태

Fig. 2. Surface state of bottom electrodes

Ta 하부 전극의 경우 그림 2 (a)에서와 같이 표면에 균열이 발생하였다. 이것은 단단한 Ta 막과 연성 기판 간의 열 및 기계적 차이에 의해 발생한 것으로 추정된다. 즉, 스퍼터링 공정에서 폴리 카보네이트 기판에 Ta 입자의 강한 충돌로 인해 발생한 열이 기판을 팽창시켰고, 스퍼터링 후 기판의 열이 식는 동안 두 물질간 수축률의 차이로 인해 응력 및 균열이 발생한 것으로 보인다. 이와는 반대로 Al을 증착한 경우 기판의 변형이나 균열 현상은 나타나지 않았다. 그림 2 (b)에 폴리 카보네이트 기판 위에 증착한 Al 전극의 표면 상태를 나타내었다. 관찰 결과 표면이 매우 깨끗하고 결함이 거의 발견되지 않았다. 이것은 상대적으로 작은 탄성 계수 및 열팽창계수로 인해 플라스틱 기판에 약간의 응력만 발생했기 때문인 것으로 보인다. 또한 균열도 발생하지 않았는데 이것은 Al 물질의 연성 특성에 기인한 것으로 보인다. 따라서 Al 하부 전극은 연성 플라스틱 기판에 적합한 것이 증명되었다.

Al 하부 전극을 형성한 후  $Ta_2O_5$  절연층과 Al 상부 전극이 차례로 형성되었다. 기존의 식각 공정으로는 제작이 불가능한데, 이것은  $Ta_2O_5$ 의 식각액이나 동일한 소재인 Al의 식각액을 기존의 공정대로 적용할 경우 하부 전극이 손상을 받기 때문이다. 기존 공정과 새로 개발된 공정을 적용하여 각각 공정을 진행, 하부 전극을 관찰하였다. 기존 공정을 적용한 경우 그림 3에 나타난 것처럼 하부 전극이 상당한 손상을 입었음을 알 수 있다. 즉 표면이 매우 거칠고 군데군데 막이 제거된 부분도 발견되었다. 이러한 전극 형태로는 전류의 국부적인 집중 등으로 수명이 급속히 단축된다 [6].

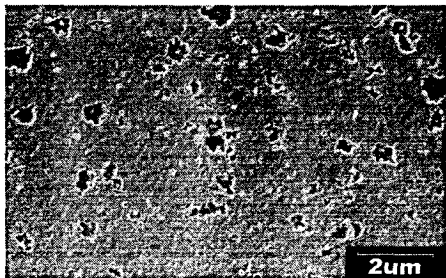


그림 3. 기존 식각 공정을 이용한 Ta 하부전극의 표면 상태  
Fig. 3. Surface morphology of Ta bottom electrode using current etching process

그러나 새로 개발된 無식각 공정을 적용한 경우 그림 4에서 보는 것과 같이 Al 하부 전극의 표면 상태가 손상을 받지 않고 현저히 개선되었다. 이로써 전류의 균일한 흐름과 국부적인 집중 방지 등 소자의 성능과 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 연성 박막 다이오드는 새로 개발된 無식각 공정을 이용하여 제작되었다.

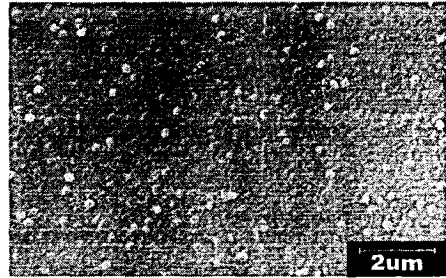


그림 4. 無식각 공정을 이용한 Al 하부전극의 표면 상태  
Fig. 4. Surface morphology of Al bottom electrode using new etch-free process

### 3.3 연성 박막 다이오드 특성 평가

제작된 연성 박막 다이오드의 전기적 특성을 평가하기 위해 HP 4145B 측정기기를 이용하여 전압 인가에 따른 전류값을 측정하였다. 측정하기 전에 제작된 박막 다이오드의 안정성을 향상하기 위해 150°C에서 열처리를 실시하였다. 이를 열처리하지 않은 시편과 함께 동일한 조건에서 전류-전압 특성을 측정하였다. 그 결과를 그림 5에 나타내었다.

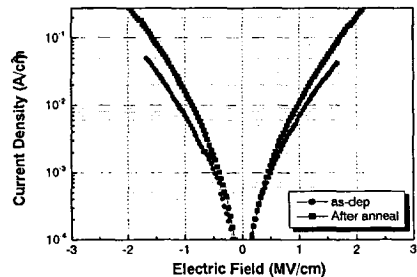


그림 5. 박막 다이오드의 전류-전압 특성 곡선  
Fig. 5. Current-voltage characteristic curve of thin film diode

열처리를 하지 않은 시편은 그림 5에서 보는 것처럼 인가 전압의 범위가 1.7 MV/cm 미만으로 제한을 받고 그 이상에서는 소자가 파괴되는 현상이 관찰되었다. 그러나 열처리를 한 경우에는 인가 전압의 범위가 3.0 MV/cm 이상으로 확장되었고 매우 안정하게 동작하였다. 이는 열처리에 의한 계면 개선에 기인한 것으로 보인다 [7]. 즉 열처리 전에는 절연층과 전극 계면에 결함이 존재하는데, 열처리를 통하여 이러한 결함을 제거, 특성이 개선된 것으로 추정된다.

또한 열처리한 박막 다이오드의 특성 곡선은 정방향 바이어스 전압과 역방향 바이어스 전압에서의 전류 값이 동일한 대칭의 경향을 나타내었다. 이는 박막 다이오드의 대칭성 전극 구조에 기인한 것으로 보인다. 즉 대칭 특성은 하부 전극과 상부 전극간의 일함수에 의해 영향을 받기 때문에, 이러한 대칭형 구조가 전류-전압 특성 곡선의 대칭성을 향상시킨 것으로 추정된다 [8]. 따라서 본 연구에서 제작된 연성 박막 다이오드가 플라스틱 기판에 적합한 우수한 소자임을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 신개념으로 설계된 대칭형 전극 구조를 이용하여 우수한 특성을 가진 연성 박막 다이오드의 제작을 시도하였다. 그 결과 대칭형 Al/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Al 구조의 연성 박막 다이오드가 無식각 공정을 적용하여 제작될 수 있었다. 또한 전류-전압 특성도 매우 우수하여 IMT-2000용 표시 장치에서 요구하는 사항을 만족시킬 수 있었다. 이러한 연성 박막 다이오드는 플라스틱 기반 능동구동 표시장치에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Baeuerle et al, "A MIM driven Display with Colour Filters on 2" diagonal Plastic Substrates", SID 99 Diest, p. 143, 1999.
- [2] S. J. Hong et al, "High Performance MIM Device for Low Threshold Voltage and Perfect Symmetry", SID 01 Digest, p. 634, 2001.
- [3] S. J. Hong et al, "High Performance MIM Devices for Plastic Film AM-LCD", Asia Display/IDW 01, p. 403, 2001.
- [4] Z. Suo, "Mechanics of Rollable and Foldable Film-on-Foil Electronics", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 8, p. 1177, 1999.
- [5] Fukuyama et al, "Method of Making Two Terminal Nonlinear Device and Liquid Crystal Apparatus Including the Same", U.S. Patent 5,654,207, Aug. 1997.
- [6] L. Vazquez et al, "AFM Study of the Dielectric Breakdown in Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Films", Chem. Mater., Vol. 7, p. 1680, 1995.
- [7] Jeong-In Han et al, "A High Performance 2" MIM-LCD with Perfect Symmetry and Uniformity", IMID '01 Digest, p. 420, 2001.
- [8] M. J. Lee et al, "Effects of Postannealing on Current-Voltage Characteristics of Metal-Insulator(Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)-Metal Type Thin-Film Diode", J. Kor. Phys. Soc., Vol. 39, No. 4, p. 686, 2001.