

박막 다이오드의 전기적 특성에 미치는 전극 구조의 영향

Effect of electrode structure on electrical properties of thin film diode

홍성제, 이찬재, 김원근, 한정인

Sung-Jei Hong, Chan-Jae Lee, Won-Keun Kim, Jeong-In Han

Abstract

박막 다이오드의 전기적 특성에 미치는 전극 구조의 영향을 관찰하였다. 박막 다이오드는 하부전극-절연층(Ta_2O_5)-상부전극의 3층 구조로 설계 및 제작하였고, 하부 전극으로 Ta, 상부 전극으로 Cr 및 Ti를 각각 사용하였다. Cr을 상부 전극으로 사용한 결과 비대칭비가 1.8인 높은 비대칭 특성을 나타내었다. 그러나 Ti 상부 전극의 경우 반대의 경향을 나타내었다. 이들을 각각 150°C에서 열처리한 결과 Cr 상부 전극 다이오드는 비대칭비가 1.4로 여전히 비대칭 경향을 나타내었으나, Ti 상부 전극의 박막 다이오드는 비대칭비가 1.1로 대칭에 가까운 우수한 특성을 나타내었다.

Key Words : thin film diode, electrode, heat treatment, symmetry, threshold voltage

1. 서 론

최근 IMT-2000 등 휴대정보기기용 디스플레이 시장이 급격히 확대되고 있다. 휴대정보기기용 디스플레이에 요구되는 중요한 특성은 가벼움과 저소비전력이다. 이러한 요구사항에 부합하기 위해 휴대정보기기용 디스플레이에 기존의 유리 기판 대신 연성 플라스틱 필름의 채택이 급격하게 증가되고 있다 [1,2]. 또한 소자의 구조가 복잡한 박막 트랜지스터를 박막 다이오드로 대체할 경우 디스플레이의 소비 전력을 낮출 수 있다.

박막 다이오드는 휴대정보기기용 통신부품과 능동구동 액정 디스플레이의 저소비전력 스위칭 소자 등 다양한 분야에 적용된다. 이러한 기능성 스위칭 소자로 사용되기 위해선 우수한 전기적 특성, 즉 전류-전압 특성 곡선의 대칭성과 낮은 문턱전압 등이 요구된다 [3,4]. 이러한 특성에 영향을 미치는 인자는 박막 다이오드의 구조, 제작 공정 및 온도 등이 있는데, 특히 하부전극과 상부전극으로

구성되는 전극의 구조가 많은 영향을 미치는 것으로 보고된다 [5]. 또한 플라스틱 기판의 채용을 위해 공정은 150°C 이하로 제한된다.

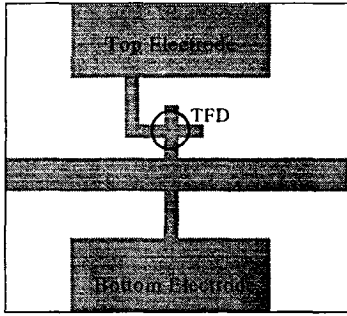
본 연구에서는 박막 다이오드의 구조가 소자의 전기적 특성에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 공정은 온도의 영향을 연구하기 위해 임의의 전극 구조에서 열처리에 따른 전기적 특성을 관찰하였다. 이로써 플라스틱 기판이 적용 가능한 최적구조의 박막 다이오드 소자를 제작하고자 하였다.

2. 실험

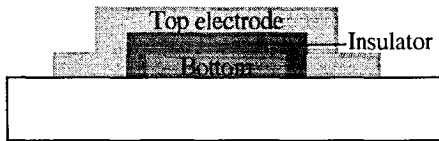
박막 다이오드 소자는 $20\mu m \times 30\mu m$ 의 크기로 설계 및 제작하였다. 그림 1에 박막 다이오드의 설계 도면을 나타내었다. 전극 구조로는 2가지 형태를 설계 및 제작하였다. 한가지 형태는 하부-상부전극이 Ta-Cr 이고, 다른 형태는 Ta-Ti 이다. 박막 다이오드 소자의 하부전극은 유리기판 위에 두께 200nm의 Ta 박막을 스퍼터링 및 사진 식각 공정으로 제작하였다. 그 위에 절연막으로 Ta_2O_5 막을 양극 산화법으로 제작하였다. 양극산화로 제작된 절연막 위에 상부 전극을 형성하였다. 전극물질로는 두께 200nm의 Cr 또는 Ti 막을 각각 제작하였

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

다. 제작된 시편은 TEM, RBS 등을 이용하여 각 층의 두께, 절연막 조성 및 계면을 관찰하였다. 열처리 온도는 150~350℃로 실시하였다. 박막 다이오드의 전류-전압 특성은 HP4145B 계측기를 이용하여 측정, 문턱전압과 대칭성 등을 관찰하였다. 문턱전압은 소자가 동작하는 전류인 $10^{-7}A$ 에서의 전압으로, 대칭성은 정방향 문턱전압과 역방향 문턱전압의 비율인 비대칭비로 각각 정의하였다 [6].



(a) 박막 다이오드 평면 설계



(b) 박막 다이오드 단면 설계

그림 1. 박막 다이오드 설계

Fig. 1. Design of thin film diode

3. 결과 및 고찰

제작된 박막 다이오드를 광학현미경으로 관찰한 결과 그림 2와 같이 $20 \times 30 \mu m$ 크기의 소자가 설계 치수에서 $\pm 0.5 \mu m$ 미만의 오차 범위내에서 설계 도면대로 잘 제작되었다. Cr과 Ta를 상부전극으로 각각 제작한 박막 다이오드 소자의 단면을 고분해능 투과전자현미경(HRTEM)으로 관찰한 결과 그림 3의 (a) 및 (b)와 같이 각 층의 상태가 양호하게 제작되었고 절연막의 두께는 양극산화 조건에 따라 20~70nm로 잘 제어되었음을 확인하였다. 그러나 두가지 경우 모두 상부전극과 절연막 간 계면에서

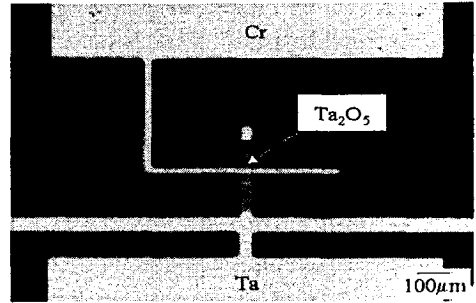
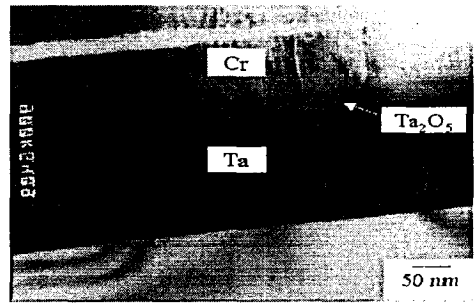
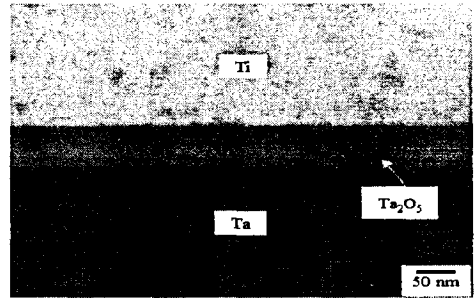


그림 2. 제작된 박막 다이오드

Fig. 2. Fabricated thin film diode



(a) Cr을 상부전극으로 제작한 소자의 단면



(b) Ti를 상부전극으로 제작한 소자의 단면

그림 3. 박막 다이오드의 단면

Fig. 3. Cross sectional view of thin film diodes

결함이 발견되었다. RBS 분석 결과 그림 4에서와 같이 본 연구에서 개발한 양극 산화법으로 제작한 절연막의 조성은 Ta_2O_5 임을 알 수 있었다.

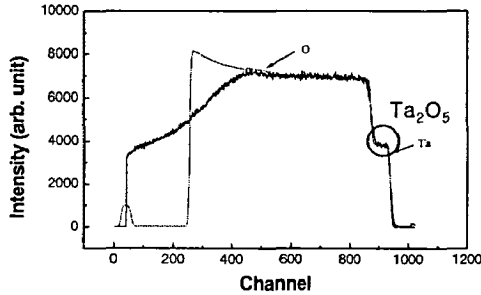


그림 4. 탄탈륨 산화막의 RBS 분석
Fig. 4. RBS analysis of TaO_x layer

이와 같이 제작된 박막 다이오드를 열처리하지 않고 전류-전압 특성을 측정한 결과 측정이 반복될 때마다 동일한 전압에서도 흐르는 전류량이 증가하면서 약 10회 반복 후 다이오드가 파괴되는 현상이 관찰되었다. 이는 그림 3에서 보인 상부 전극과 절연막 간 계면의 결합에 기인한 것으로 보인다. 즉 결합에 의해 전체적으로 불균일한 전류의 흐름과 국부적으로 전류의 집중이 발생, 소자의 수명을 단축시킨 것으로 추정된다 [7]. 그러나 150°C 이상에서 박막 다이오드를 열처리한 결과 동일한 조건으로 수십번 반복 측정하여도 일정한 전압에 대한 전류 값이 항상 일정하였다. 이는 열처리에 의해 상부전극과 절연막 물질의 계면에서의 상호 확산이 일어나고 이로 인해 계면 결합이 제거되어 소자의 특성이 안정된 것으로 추정된다.

따라서 모든 소자는 열처리를 실시하였다. 즉 Ta-Cr과 Ta-Ti 다이오드 소자를 150~350°C의 온도 범위에서 열처리하였고, 상부 전극에 따른 문턱 전압과 대칭성을 관찰 비교하였다. 우선 절연막 두께가 20nm와 70nm인 박막 다이오드의 문턱 전압을 관찰하였다. 그 결과 그림 5와 같이 모든 두께에서 열처리 온도가 증가함에 따라 문턱전압이 감소하는 경향을 나타내었고 감소하는 기울기도 유사한 경향을 나타내었다. 이를 단위 길이(cm) 당 전압(MV)으로 환산한 결과 값이 일치하였다. 그 후 상부 전극의 물질에 따른 문턱 전압을 측정하였고 그 결과를 그림 6에 나타내었다. Cr과 Ti 모두 열처리 온도가 증가함에 따라 문턱전압이 감소하는 경향을 나타내었다. 그런데 Ta-Ti 박막 다이오드가 Ta-Cr에 비해 동일한 문턱전압의 감소 기울기가 더 큰 경향을 나타내었다.

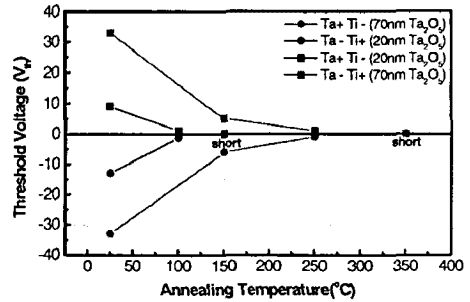


그림 5. 절연막 두께에 따른 박막 다이오드의 문턱 전압

Fig. 5. Threshold voltage of thin film diode according to thickness of insulator

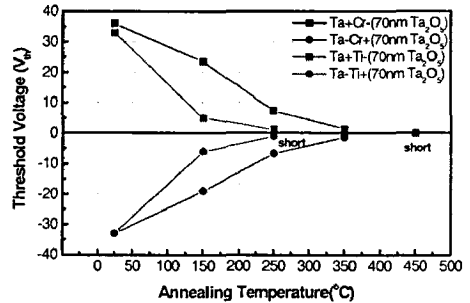


그림 6. 상부 전극의 물질에 따른 박막 다이오드의 문턱 전압

Fig. 6. Threshold voltage of thin film diode according to top electrode

이는 상부전극 물질과 절연막과의 반응에 기인한 것으로 보인다. 즉 Ti가 Cr에 비해 Ta₂O₅ 절연막과의 반응이 활발하고 이로 인해 동일한 열처리 온도에서 상호 확산으로 인해 에너지 장벽이 낮아지면서 문턱 전압이 감소한 것으로 추정된다 [8].

박막 다이오드의 대칭성도 그림 7에서와 같이 Ta-Ti의 경우가 Ta-Cr의 경우에 비해 동일한 열처리 온도에서 대칭성이 더 많이 개선되었다. 즉 열처리를 하지 않은 경우 소자가 매우 불안정하여 불규칙하게 측정되었고, Ta-Cr의 경우 비대칭비가 1.8로 높은 값을 나타내었다. 이를 150°C에서 열처

리하여도 비대칭비가 1.4로 여전히 높은 값을 나타내었다. 그러나 Ta-Ti의 경우 동일한 온도에서 열처리한 결과 비대칭비가 1.1로 Ta-Cr에 비해 개선된 값을 나타내었다.

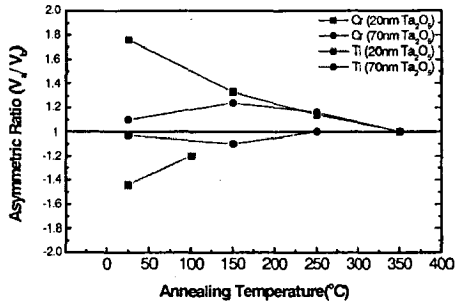


그림 7. 상부전극에 따른 박막 다이오드의 대칭성
Fig. 7. Symmetry of thin film diode according to top electrode

이는 하부 전극과 상부전극간 일함수의 차이에 기인한 것으로 보인다. 즉 Cr의 일함수(4.5eV)에 비해 Ti의 일함수(4.33eV)가 Ta의 일함수(4.35eV)와 차이가 덜 나고 이와 같은 요인이 결과적으로 대칭성 향상에 기여한 것으로 추정된다.

이 결과들을 이용하여 박막 다이오드 소자를 150°C로 저온 열처리, 제작 후 전류-전압 특성을 측정하였다. 그 결과 그림 8에서와 같이 Ta-Ti 박막 다이오드가 Ta-Cr에 비해 우수한 성능을 나타내었고 전압 0.7MV/cm, 대칭성이 1~1.1인 우수한 성능의 박막 다이오드 소자를 제작할 수 있었다.

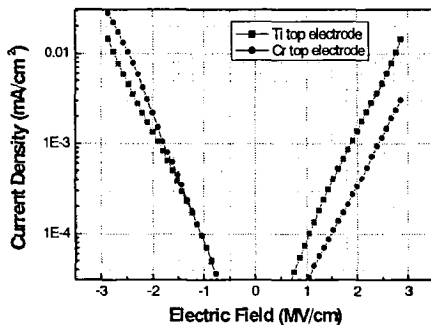


그림 8. 박막 다이오드의 전류-전압 특성
Fig. 8. I-V characteristics of thin film diodes

4. 결론

본 연구에서는 박막 다이오드의 전기적 특성에 미치는 전극 구조의 영향을 관찰하기 위해 상부 전극으로 Cr 및 Ti를 각각 적용한 박막 다이오드를 제작, 특성을 측정하였다. 그 결과 Ti 상부 전극을 가진 박막 다이오드가 Cr을 가진 것에 비해 더 나은 특성, 즉 낮은 문턱 전압과 우수한 대칭성을 나타내었다. 또한 Ti 상부 전극의 박막 다이오드를 150°C에서 열처리한 결과 문턱전압이 0.7 MV/cm, 비대칭 비율이 1~1.1로 플라스틱 기판에 적용이 가능한 우수한 특성의 박막 다이오드 소자를 제작할 수 있었다.

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, "Flexible MIM Devices for Plastic Film AM-LCD", IDMC 2002, p. 377, 2002.
- [3] S. J. Hong et al, "High Performance MIM Devices for Plastic Film AM-LCD", Asia Display/IDW 01, p. 403, 2001.
- [4] Jeong-In Han et al, "A High Performance 2" MIM-LCD with Perfect Symmetry and Uniformity", IMID '01 Digest, p. 420, 2001.
- [5] M. J. Lee et al, "Effects of Postannealing on Current-Voltage Characteristics of Metal-Insulator(Ta₂O₅)-Metal Type Thin-Film Diode", J. Kor. Phys. Soc., Vol. 39, No. 4, p. 686, 2001.
- [6] S. J. Hong et al, "High Performance MIM Device for Low Threshold Voltage and Perfect Symmetry", SID 01 Digest, p. 634, 2001.
- [7] L. Vazquez et al, "AFM Study of the Dielectric Breakdown in Ta₂O₅ Films", Chem. Mater., Vol. 7, p. 1680, 1995
- [8] R. Baeuerle et al, "A MIM driven Display with Colour Filters on 2" diagonal Plastic Substrates", SID 99 Digest, p. 14, 1999