

Al-Ta 합금박막의 구조적 인자가 전기적 특성 및 발열 특성에 미치는 영향

송대권^a · 이종원^{a,*} · 박인용^a · 김규진^b

^a한밭대학교 재료공학과, ^b휴먼일렉스(주)

Influences of Structural Features on Electrical Properties and Heating Characteristics of Al-Ta Alloy Thin Films

Daegwon Song^a, Jongwon Lee^{a,*}, In Yong Park^a and Kyujin Kim^b

^aDepartment of Materials Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719

^bHumanElecs (Ltd.), Daejeon 306-220

초 록: 본 연구에서는 RF-Magnetron Sputtering 장치를 이용하여 Al_xTa_{1-x} ($x=0.0\sim 1.0$) 합금박막을 성장하였고, XRD, AFM, 4탐침법 등을 사용하여 시료의 결정질과 표면형상, 그리고 전기적 특성을 분석하였다. Al 조성을 변화시켜서 Al-Ta 합금박막을 증착하고, 그에 따라 얻어진 결과를 토대로 하여 박막 두께별, 박막의 폭 별로 합금박막을 성장하였다. 또한 heat controller를 사용하여 시료의 발열특성을 분석하였다. 본 연구의 결과 Al-Ta 합금박막은 Al 조성 $x=6.63at\%$ 에서 가장 높은 전기저항이 나타났고, 박막 두께가 얇아지거나 패터닝된 박막의 폭이 좁을수록 더욱 높은 전기저항이 나타났다. 발열온도는 전기저항의 변화추이와 동일한 양상을 보였고, Al 조성 $x=6.63\%$, 박막두께 $d=500\text{ nm}$, 박막폭 $w=1.5\text{ mm}$ 에서 가장 높은 발열온도 (400°C)와 출력 (12.6W/cm^2)을 나타냈다.

Abstract: The Al_xTa_{1-x} ($x=0.0\sim 1.0$) alloy thin films were deposited by RF-magnetron sputtering system, and the crystal quality, surface morphology, and electrical properties were examined using XRD, AFM, 4-point probe techniques in this study. The thin films were grown according to the alloy compositions first, and the effects of film thickness and mask patterns were investigated afterwards. Also, the heating characteristics were examined by heat controller. The obtained results showed that the high electrical resistivity was obtained for Al content $x=6.63at\%$, and the even higher resistivity was accomplished for the samples with smaller thickness and narrower width. The heating temperature demonstrated the identical trend to the electrical properties, and the highest heating temperature (400°C) and output power (12.6W/cm^2) were obtained for the sample with Al content $x=6.63\%$, film thickness $d=500\text{ nm}$, film width $w=1.5\text{ mm}$.

Keywords: Al-Ta alloy film, electrical resistivity, heat generation, hillock

1. 서 론

Al-Ta 합금박막은 최근 들어 TFT-LCD의 금속배선 및 전극재료¹⁾, n-GaN 발광소자의 ohmic 전극

재료²⁾, ULSI용 Cu 배선금속의 산화방지막 (passivation layer)³⁾ 등에 많이 사용되고 있는 중요한 재료이다. 이같이 Al-Ta 합금박막은 그간 주로 전자소자 및 반도체소자의 전극재료 혹은 표면층 재료

*Corresponding author
E-mail: jwlee@hanbat.ac.kr

로 많이 사용되어 왔다. 따라서 이 Al-Ta 합금박막의 여러 가지 구조적 특성 중 표면형상과 평탄도 등과 같은 표면특성에 많은 연구가 집중되어 왔다^{4,5)}. 특히 Al-Ta 합금박막의 특정 조성범위에 대해서 형성된 hillock의 미시적 구조에 관해서는 광범위한 연구가 진행된 바가 있으나^{6,7)}, 박막의 조성, 두께, 폭 등과 같은 구조적 인자가 전기적 특성과 발열특성에 미치는 영향에 대해서는 그 중요성에도 불구하고 연구가 진행되지 않았다. 특히 Al-Ta 합금박막은 전기저항이 높고 ($>250\mu\Omega\text{-cm}$) 열적 특성이 안정되어 면발열체로 활용될 수 있는 잠재력이 충분함에도 불구하고, HfB₂, TaN, Ru-Ta, 고농도 도핑된 Si 등에 비해서 연구가 거의 진행된 바 없다.

종래의 발열체는 니켈-크롬계 합금, 철-크롬계 합금, 그리고 순금속 형태의 백금, 몰리브덴, 텅스텐과 같은 금속물질을 발열체재료로 사용하며 주로 코일의 형태를 갖는다. 그러나 이와 같은 종래의 발열체는 불가피하게 입체구조(코일구조)를 하고 있기 때문에 최종소자의 다양한 구조구현에 많은 어려움이 수반되며, 온도를 올리고 내리는데 많은 시간이 요구되고 이에 따라 에너지변환효율이 낮아 전력낭비가 커지는 문제점이 있어 왔다. 또한 그간 면발열체라고 하여 개발되어 제품으로 나와 있는 것도 완벽한 박막형 면발열체라기보다는 탄소입자에 여러 가지 분말을 소결한 뒤 필름에도 포하여 사용하고 있는 실정이다⁸⁾. 본 연구에서 구현하고자 하는 Al-Ta 면발열체는 전기담요, 전기후라이팬과 같은 기초적인 가전제품 뿐만 아니라, 액정표시소자(LCD)의 필수제작공정인 광감응체(PR) 도포용 가열장치, 그리고 미세전자소자(MEMS)의 국소가열장치 등과 같은 핵심적인 전자소자 및 표시소자에도 적용될 수 있는 중요한 분야이므로 집중적으로 연구되어야 하는 사항이다. 본 연구에서는 RF-Magnetron 스퍼터링 장치를 이용하여 Al-Ta 합금박막을 성장하였고, 표면 hillock, 결정질, 전기저항, 발열특성에 대해 연구하였으며, 특히 구조적 특성과 발열특성의 관계에 대해 체계적으로 연구하였다.

2. 실험방법

본 연구의 Al-Ta 합금박막은 RF-Magnetron 스퍼

터링 장치를 이용하여 성장하였다. 챔버는 3개의 2" magnetron Gun으로 구성되며, gun과 기관과의 거리는 약 8cm 였다. 타겟은 99.995%의 고순도 Al 타겟과 Ta 타겟을 사용하였고, 2개의 RF 전원공급 장치를 사용하여 Al과 Ta의 전원을 독립적으로 조절하여 Al과 Ta의 플라즈마를 생성하여 Al-Ta 합금박막을 성장하였다. Ta의 전원을 고정하고 Al의 전원을 조절함으로써 Al-Ta 합금박막의 조성을 조절하였고, 기관은 알루미늄 기관을 사용하였다. 기관의 세정은 염산과 탈이온수, 아세톤을 이용하였고 dry Oven을 이용하여 건조시켰다. Al-Ta 합금박막의 스퍼터링 조건을 최적화하기 위해서 Al과 Ta의 스퍼터링 조건을 각각 안정화시킨 후, 이 두 조건을 토대로 해서 Al-Ta 합금박막의 성장조건을 최적화하였다. 여러 가지 조건 중, 기관온도 300°C, 동작압력 1×10^{-2} torr (챔버압력 1×10^{-6} torr), Ta 전원 180W, Al 전원 60~400W, 기관회전 5rpm 이 Al-Ta 합금박막의 최적 성장조건으로 나타났다.

성장된 Al-Ta 합금박막의 결정구조, 결정성을 평가하기 위하여 X선 회절분석장치(XRD)를 사용하였다. 그리고 조성에 따른 박막의 전기저항을 측정하기 위하여 4탐침 전기저항측정장치(four-point probe)를 사용하였다. 접촉저항을 최소화하기 위하여 indium contact을 형성하였고, 시료의 다른 부위를 5회 이상 측정하여 평균값을 산출하였다. 시료의 표면형상과 hillock을 관측하기 위하여 atomic force microscope (AFM)을 사용하였다. 시료의 발열특성을 측정하기 위해 power supply와 thermocouple 기능을 복합화시켜 자체 제작한 heat controller를 사용하여 박막에 thermocouple을 직접 접촉하여, 출력전력, 최고발열온도 등의 발열특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Al_xTa_{1-x} 합금박막의 표면형상을 AFM으로 관측한 내용을 Fig. 1에 실었고, Fig. 1(a)~(f)는 Al 조성 x 가 각각 0.0, 0.131, 0.245, 0.306, 0.602, 0.895에 해당하는 시료이다. Fig. 1에서 나타나듯이 본 연구에서 성장시킨 Al-Ta 합금박막의 표면에서는 조성에 따라 많은 hillock이 존재하였다. Al-Ta 합금박막이 최근에는 TFT-LCD용 배선재료 및 금속전극재료¹⁾, 혹은 n-GaN를 사용한 발광소자의 전극

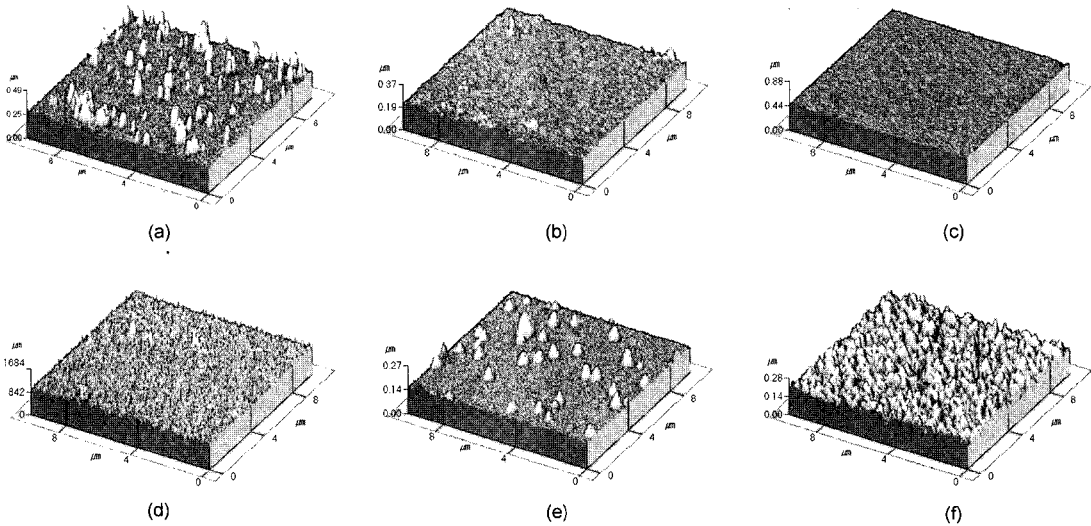


Fig. 1. AFM images of $\text{Al}_x\text{Ta}_{1-x}$ thin films. (a) $x=0.0$ (b) 0.131 (c) 0.245 (d) 0.306 (e) 0.602 (f) 0.895.

재료로 많이 사용되고 있는데⁹⁾, 이들 용도로 Al-Ta 합금박막을 사용할 때 기판과 알루미늄의 선풍창계수의 차이로 인하여, 혹은 소자제작과정의 어닐링과 같은 과정에서 hillock이 발생하면 소자 내 각층간의 전기적 단락 (electrical short) 현상이 발생하여 소자구동에 어려움이 나타나게 된다¹⁰⁾. Fig. 1에서 알 수 있듯이 Al 조성이 대략 10%~30% 영역에서 hillock이 배제되었다. Al-Ta 합금박막에서 발생하는 이런 hillock 현상은 성장시 발생하는 박막의 압축응력을 해소하기 위해 Al의 확산에 의해 주로 형성되는 내부 미세입자의 응집에 의한 편석 혹은 섬 형성으로 설명할 수 있다¹¹⁾.

Fig. 2에서는 본 연구에서 성장한 $\text{Al}_x\text{Ta}_{1-x}$ 합금박막의 Al 조성 (x)에 따른 XRD 회절패턴을 나타냈다. 순수한 Ta ($x=0.0$)의 경우 Ta의 고유한 피크인 (110), (211) 피크가 나타났고 순수한 Al ($x=1.0$)의 경우에는 (111), (200), (220) 피크가 나타났다. $\text{Al}_x\text{Ta}_{1-x}$ 합금의 경우에는 Al_3Ta 상의 (110), (103), (204), (222) 피크가 나타났는데, Al 조성이 30% 이상의 시료에 대해서는 (103) 피크가 강하게 나타났다. 특히 Al 조성이 75.7% 이상이 되면 Al-Ta상과 Al상이 혼재되어 나타났다. 또한 Al의 양이 증가함에 따라 $20^\circ \approx 2\theta$ 부근의 강도가 증가하고, (103) 피크의 선폭이 증가하는 것으로 보아 막의 결정성은 떨어지는 것으로 생각된다. Fig. 2에서 나타난 Al-Ta 박막의 회절각을 JCPDS 데이터¹²⁾와

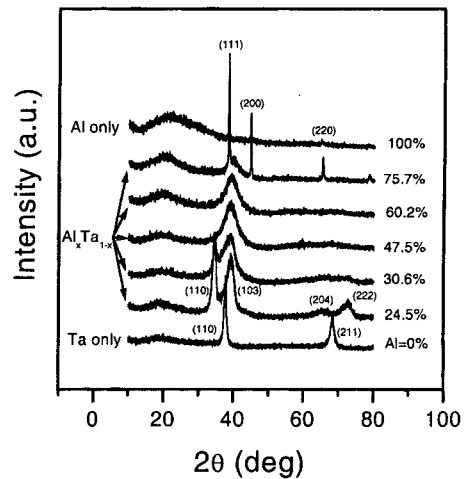


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of $\text{Al}_x\text{Ta}_{1-x}$ alloy thin films ($x=0.0\sim 1.0$).

비교한 결과를 나타냈다. 실측한 회절각은 각각 34.464° , 39.384° , 65.348° , 73.156° 로서 JCPDS 상의 Al_3Ta 상의 회절각 33.929° , 39.344° , 65.244° , 73.396° 와 거의 일치하고 있으며, 이에 대응한 면지수는 각각 (110), (103), (204), (222)였다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 본 연구의 Al-Ta 합금박막은 Al_3Ta 합금이었으며, 또 이 결과는 다른 연구자의 연구결과와도 일치한다¹³⁾.

Fig. 3은 Al-Ta 합금박막의 전기저항을 나타냈는

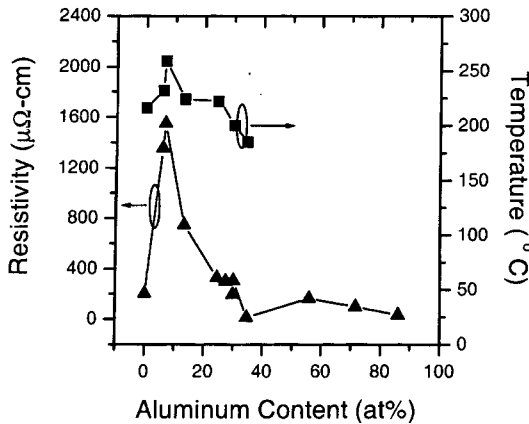


Fig. 3. Electrical resistivities and heat generation plotted as a function of Al content.

데, Al-Ta 합금박막의 두께를 500 nm으로 고정시킨 다음, 각각의 조성별로 박막을 성장시켜 비저항 값을 측정하였다. 순수한 Ta의 비저항 값은 약 203.5 μΩ-cm를 나타냈고 Al 조성이 6.63%에서 가장 높은 비저항 결과를 나타냈고 (1550.5 μΩ-cm) Al 조성이 30%을 지나면서 급격히 낮아졌다.

Fig. 4는 Fig. 3의 데이터를 토대로 하여 Al-Ta 합금박막의 전기저항이 가장 높게 나온 6.63%의 조성을 기준조성으로 고정하고, 박막의 두께를 변화시켜 성장한 박막의 두께에 따른 저항을 나타내었다. 박막두께 (d)와 저항값의 일반적인 관계에 맞게 두께가 증가할수록 저항이 줄어드는 모습을 나

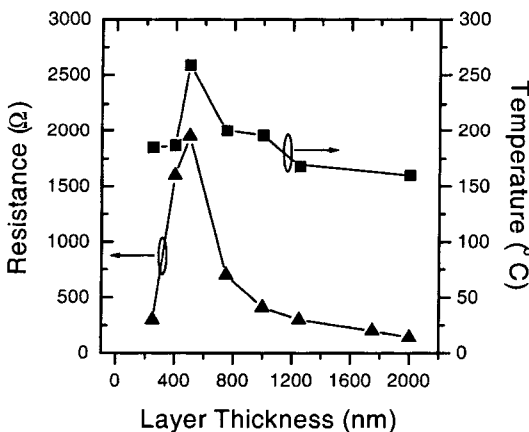


Fig. 4. Electrical resistances and heat generation plotted as a function of thickness of Al-Ta alloy films (* Al content 6.63%).

타냈고, 약 500 nm 두께에서 가장 높은 저항값이 얻어졌다. 500 nm이하의 두께에서는 매우 낮은 저항값이 얻어졌다. Fig. 5에서는 가장 저항이 높게 나온 두께와 조성값인 d=500nm와 x=6.63%를 기준으로 마스크 패턴을 다르게 하여 성장한 시료에 대하여 저항값을 측정하였는데, 앞서 언급한 두께와 저항값과의 관계와 같이 마스크폭을 조절하여 발열체의 폭을 얇게 하면 저항값이 커지는 현상을 나타냈다. 본 연구에서는 발열체의 폭 (w)을 1.5 mm~3.5 mm의 영역에서 조절하였는데, 이 범위 중 w=1.5 mm의 시료에서 가장 높은 전기저항이 Fig. 5의 결과와 같이 얻어졌다. 이와 같은 특정 조성과 특정두께, 그리고 특정 폭에서 얻어진 높은 전기저항 값은 Al-Ta 합금박막을 상술한 여러 가지 응용분야를 갖는 면발열체로 제작할 때 중요한 의미를 가진다. 즉, 단위시간당 발열량은 시료의 전기저항에 직접적으로 비례하기 때문에 전기저항이 높은 조성과 구조적 특성 (박막두께와 폭 등)은 실제적으로 유용한 기초 자료로 활용될 수 있는 것이다.

Fig. 3, 4, 5는 전기저항 뿐만 아니라, 본 연구의 주요 목표인 Al-Ta 합금박막의 발열특성도 또한 보이고 있다. Fig. 3에서는 전술한대로 Al 조성 x=6.63%인 시료에서 비저항 값이 가장 높게 나타났는데, 이 결과와 동일한 양상으로 동일조성에서 가장 높은 발열온도가 얻어졌다. 또한 Fig. 4에는 박막 두께에 따른 발열온도의 변화양상을 나타냈는데, 두께가 전기저항에 미치는 영향과 동일하게 두께 500 nm 정도에서 가장 높은 발열온도가 얻어졌다. 그리고 Fig. 5에는 발열체의 폭 (w) 변화가 발열특성에 미치는 영향을 나타냈다. 본 연구에서는 면상발열체를 구현하고자 하는 목표로 Al-Ta 합금박막을 성장하는데, 전술한대로 시료의 전기저항 값을 증가시키기 위해서는 시료표면을 패터닝하여야 하는데 이를 위해서는 시료 성장시 마스크를 씌우고 성장해야 하는 것이고, Fig. 5에는 이와 같이 하여 결정된 발열부위의 폭의 함수로 저항과 발열온도를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 두께가 얇아지면 발열온도가 올라가는 경향을 보였듯이, Fig. 5에서도 발열부위의 폭이 줄어들면 발열온도가 증가하는 경향을 보였다. 특히 Fig. 5에서 시료의 폭이 1.5 mm 일 경우 발열온도는 400°C에 달하였고 출력전력이 33.3W로 나타났는데, 이는

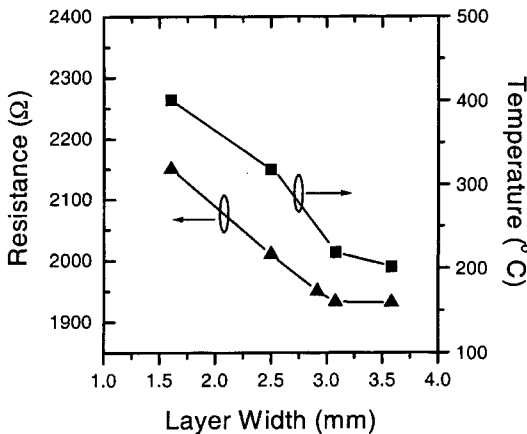


Fig. 5. Electrical resistivities and heat generation plotted as a function of layer width of Al-Ta alloy films.

단위면적 (cm^2)당 12.6W의 출력에 해당되는 것으로서 매우 높은 출력과 발열온도를 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 RF-Magnetron 스퍼터링 장치를 이용하여 Al-Ta 합금박막을 성장하였고, 여러 가지 물리적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AFM 측정결과, Al 조성 10~30%의 범위에서 hillock이 배제된 표면을 얻을 수 있었다.

(2) XRD 측정결과로 볼 때, 본 실험에서 성장한 Al-Ta 합금박막은 Al_3Ta 합금임을 알 수 있었다.

(3) Al-Ta 합금박막의 전기저항은 Al 조성 $x=6.63\%$ 에서 가장 큰 저항을 얻을 수 있었으며, 박막의 두께가 얇거나 폭이 줄어들면 저항값이 증가하였다.

(4) 발열온도는 전기저항의 변화추이와 동일한 양상을 보였고, Al 조성 $x=6.63\%$, 박막두께 $d=500$ nm, 박막폭 $w=1.5$ mm에서 가장 높은 발열온도 (400°C)와 출력 ($12.6\text{W}/\text{cm}^2$)을 나타냈다.

참고문헌

1. T. Tukada, "Design and Process Technology for Large Area and High-Resolution TFT/LCDs", Proc. 12th Int. Display Research Conf. (Japan Display 1992), 325(1992).
2. A. T. Ping, M. Asif Khan, I. Adesida, "Ohmic Contacts to n-type GaN Using Pd/Al Metallization", *J. Electron. Mater.*, 25, 819(1996).
3. M. Takeyama, A. Noya, M. Taguchi, T. Ichikawa, "Oxidation Characteristic of Al-Ta thin Alloy Films as a Passivation Layer on Cu", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35, 704(1996).
4. A. I. Vorobyoba, V. A. Sokol, E. A. Outkina, "SEM Investigation of Pillared Microstructures Formed by Electrochemical Anodization", *Appl Phys.*, A67, 487 (1998)
5. H. Sieber, G. Wilde, J. H. Perepezko, "Thermally Activated Amorphous Phase Formation in Cold-Rolled Multilayers of Al-Ni, Al-Ta, Al-Fe and Zr-Cu", *J. of Non-Cryst.*, 250, 611(1999).
6. T. Ohnishi, E. Iwamura, K. Takagi, T. Watanabe, "Effects of Nd Content in Al Thin Films on Hillock Formation", *J. Vac. Sci. Technol.*, A15, 2339(1997).
7. T. Onishi, E. Iwamura, K. Takagi, K. Yoshikawa, "Influence of Adding Transition Metal Element to an Aluminum Target on Electrical Resistivity and Hill-ock Resistance in Sputter-Deposited Aluminum Alloy Thin Films", *J. Vac. Sci. Tech.*, A14(5), 2728(1996).
8. S. Tadami, "Manufacture of Carbon Heating Element", Japan Patent Office, JP2000048938(2000).
9. A. T. Ping, M. Asif Khan, I. Adesida, "Ohmic Contacts to n-type GaN Using Pd/Al Metallization", *J. Electron. Mater.*, 25, 819(1996).
10. Y. K. Lee, N. Fujimura, T. Ito, "Annealing Behavior of Alloy Films for Interconnection Conductor in Microelectronic Devices", *J. Vac. Sci. Technol.*, B9, 2542 (1991)
11. T. Hara, T. Okuda, S. Nagano, T. Ueda, "Stress Measurement in Al-Si-Cu interconnection Layers", *J. Electrochem. Soc.*, 142, 1946(1995).
12. JCPDS Index no. 02-1128
13. T. Ohnishi, E. Iwamura, K. Takagi, "Morphology of sputter deposited Al alloy films", *Thin Solid Films*, 340, 306(1999).