

# 몰리브덴 팁 전계 방출 소자에 있어서 크롬 게이트 전극 구조의 개선

論 文  
50C - 10 - 9

## Improvement of Geometrical Structure of Cr-Gate Electrode in Mo-tip Field Emitter Array

朱炳權\* · 金勳\* · 徐祥源\*\* · 李允熙\*  
(Byeong-Kwon Ju · Hoon Kim · Sang-Won Seo · Yun-Hi Lee)

**Abstract** - The sputtering condition of Cr thin film was established in order to get Cr gate electrode having a vertical wall structure for Mo-tip FEA. In case of Mo-tip FEA which had a vertically-etched Cr gate electrode, the field enhancement factor, was relatively increased and so the field emission performance in terms of turn-on voltage, emission current and trans-conductance could be improved when compared with the devices having a tapered gate wall.

**Key Words** : Chromium, Mo-tip FEA, Etched feature, deposition condition

### 1. 서 론

전계 방출 표시기(Field Emission Display: FED)를 비롯한 진공 마이크로 일렉트로닉스 분야의 핵심 소자인 몰리브덴 팁 전계 방출 소자(Mo-tip Field Emitter Array: Mo-tip FEA)에 있어서 원형 게이트 홀을 구성하는 게이트 전극의 식각 벽이 수직 형상을 가진다는 것은 동일 전압하에서 팁에 인가되는 전계를 보다 크게 할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 이를 위하여 게이트 전극으로 주로 사용되는 Cr 박막에 대해 스퍼터링 증착 온도와 증착 후 반응성 이온 식각(Reactive Ion Etching: RIE) 특성과의 상관 관계에 대해서 조사할 필요가 있다.

본 논문에서는 Cr 박막의 스퍼터링 증착 온도를 변화 시키면서 구조 및 결정성을 조사하였으며, RIE에 따른 식각 벽의 구조 변화를 관찰하였다. 또한, 설정된 스퍼터링 및 식각 조건을 이용하여 Cr 게이트 전극의 식각 단면이 수직인 Mo-tip FEA를 제조하였으며, 이의 평가를 통하여 수직 게이트 구조를 갖는 소자가 경사 게이트 구조 소자에 비해 높은 전계 증배 계수(β)를 가짐으로써 동작 개시 전압(turn-on voltage)의 감소, 방출 전류와 상호 컨덕턴스(trans-conductance)의 증가에 기여함을 확인하였다.

### 2. 크롬 박막의 증착 및 특성 평가

열 산화막이 성장된 실리콘 웨이퍼를 기판으로 하여 RF-magnetron 스퍼터링에 의해 크롬 박막을 증착하였다. RF power와 아르곤의 유량은 100 W, 50 sccm로 조절하였고, 초기 진공도와 작업 진공도는 각각  $4 \times 10^{-7}$  Torr와  $4 \times 10^{-3}$  Torr로 설정하였다. 증착 속도는 주로 RF power에 관계하며 증착 온도에는 크게 의존하지 않기 때문에 증착 시간은 35분으로 일정하게 유지하였으며, 증착 온도( $T_s$ )를 상온, 100°C, 200°C, 300°C로 변화 시켰다.

그림 1은 증착된 크롬 박막들에 대한 XRD(X-Ray Diffraction) 스펙트럼을 보인 것이다.  $T_s =$  상온 ~ 200°C의 경우, (110) 피크가 주가 되며, (200) 및 (211) 피크는 매우 약하게 나타나 있다. 그러나 300°C에서 증착된 막의 경우, (110) 피크가 상대적으로 감소하며, 따라서 결정 구조의 변화가 있음을 추측할 수 있다.

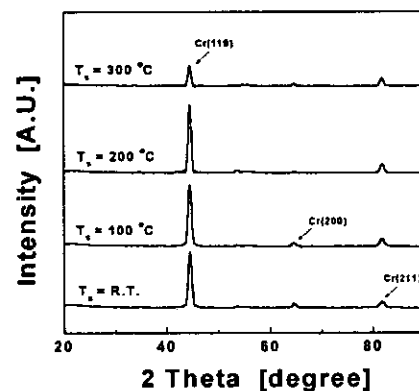


그림 1. 스퍼터링 증착된 크롬 박막의 XRD 패턴  
Fig. 1. XRD patterns of sputtered Cr thin film

\* 正 會 員 : KIST 디스플레이 및 나노 素子研究室  
先任研究員/學生研究員/責任研究員  
(<http://diana.kist.re.kr>)

\*\* 準 會 員 : B&P Science 先任研究員  
接受日字 : 2001年 8月 14日  
最終完了 : 2001年 10月 17日

$T_s$ 에 따른 결정성의 변화를 명확히 하기 위하여 texture 계수,  $\delta$ 를 산출하였다. 즉, 결정면(hkl)에 따른 texture coefficient,  $\delta_{(hkl)}$ 은  $\delta_{(hkl)} = \{I_{(hkl)exp}/I_{(hkl)th}\} / \{I_{(hkl)exp}/I_{(hkl)th}\}$ 로 얻어지며, 여기서  $I_{exp}$ 와  $I_{th}$ 는 각각 XRD 스펙트럼의 피크치로서 실험치와 JCPDS에 의한 이론치를 의미한다[1]. 이와 같이 규준화된 texture 계수를 이용하면, 박막의 두께나 측정 장치로부터의 간섭 등에 따른 오차를 상쇄하고 결정성과 관련된 데이터를 얻을 수 있다. 그림 2에 증착 온도에 따른 texture 계수의 변화를 나타내는데,  $T_s =$  상온 ~ 200°C에서는 (110) 방향의 피크가 주가 되며,  $T_s = 300^\circ\text{C}$ 에서는 (211) 방향의 피크가 주가 됨을 알 수 있다. 즉,  $T_s$ 가 300°C에 이르게 되면, 흡착 원자(ad-atom)들의 이동도가 증가하고, 따라서 열역학적 특성이 개선되어 (211) 방향성이 주가 되는 성향을 갖는 것으로 추측할 수 있다.

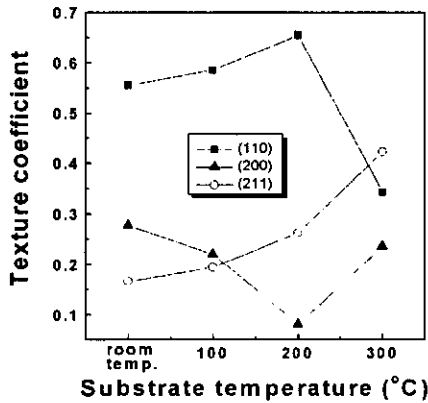


그림 2. Cr 박막에 있어서 증착 온도와 texture계수간의 관계  
Fig. 2. Relationship between deposition temperature and texture coefficient in Cr films

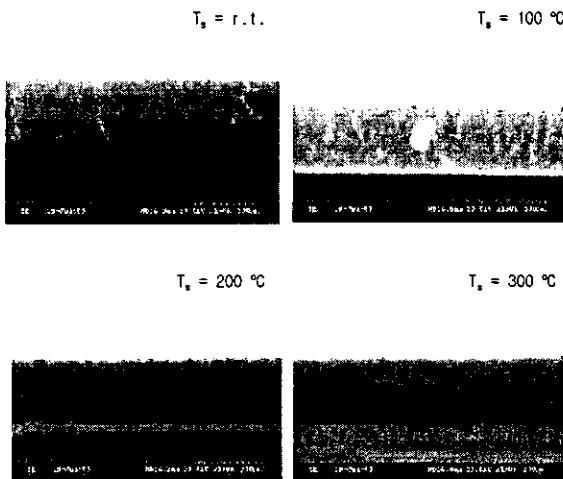


그림 3. 증착 온도에 따른 Cr 박막의 구조 변화  
Fig. 3. Dependence of Cr film structures on deposition temperature

그림 3에 증착된 Cr 박막들의 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진을 보였는데, 증착 온도가 상온 ~ 200°C 정도에 이르기까지는 columnar 구조를 가지고 있는 것

으로 나타났으며, 300°C에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았다. 대역 모델 기구(zone model mechanism)에 따르면, 결정 특성은 재료나 증착률 보다도  $T_s$ 에 상대적으로 크게 의존하는데, 특히  $T_s/T_m < 0.1$ 일 경우(단,  $T_m$ 은 재료의 녹는점), 흡착 원자가 낮은 표면 이동도를 가지게 되어 초기의 핵 형성이 증착 방향성에 크게 의존하게 되며,  $T_s/T_m > 0.1$ 에서는 표면 이동도가 증가하여 보다 안정적인 박막 구조를 갖게 된다[2,3]. Cr의 녹는점이 약 1900°C에 이르므로  $T_s/T_m \sim 0.1$ 에 해당하는  $T_s$ 는 약 190°C로서, 이를 분기점으로 박막의 결정성이 변화하는 것도 이러한 현상으로 볼 수 있다.

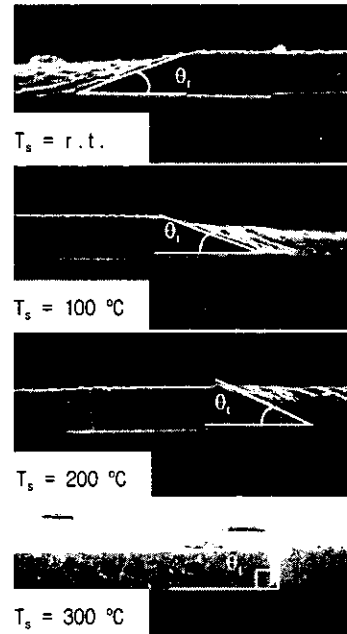


그림 4. Cr 박막의 증착 온도에 따른 식각 패턴의 변화  
Fig. 4. Dependence of etched-patterns on deposition temperature of Cr thin film

그림 4는  $T_s =$  상온 ~ 300°C에서 증착된 Cr 박막들에 대해 사진 식각 공정으로 1 $\mu\text{m}$  직경의 원형 패턴을 형성한 뒤 동일한 조건으로 RIE 공정을 행한 경우로서, Cr 박막의 식각 벽의 경사 각도(tapered angle),  $\theta_t$ 의 변화를 보여주고 있다.  $T_s =$  상온 ~ 200°C에서 증착된 경우,  $\theta_t$ 의 평균치는 30~60°로 나타났으나,  $T_s = 300^\circ\text{C}$ 의 경우에는  $\theta_t$ 가 90°로 경사가 없는 수직 식각이 가능하였다. 이러한 식각 현상도  $T_s$ 에 따른 박막 결정성의 변화, 이로 인한 원자의 packing density 변화 등에 의한 것으로 판단된다.

### 3. Mo-tip FEA의 제조 및 특성 평가

Spindt 공정에 의해 Mo-tip FEA를 제조하는 과정은 앞서 발표된 바 있다[4]. 여기서는 Cr 박막을 게이트 전극으로 사용하였으며, Cr게이트 전극의 식각 부분이 경사진 구조( $\theta_t \neq 90^\circ$ )를 갖는 경우와 수직 구조( $\theta_t = 90^\circ$ )를 갖는 경우를 제작하여 전계 방출 특성을 비교, 검토하였다. 강하게 도핑된 N형 실리콘 기판 위에 게이트 절연막으로서

850 nm 두께의 열 산화막을 성장시킨 뒤,  $\theta_i \approx 90^\circ$  와  $\theta_i = 90^\circ$  인 Cr 게이트 전극을 얻기 위하여 각각  $T_s = 100^\circ\text{C}$  와  $T_s = 300^\circ\text{C}$  에서 250 nm 두께의 Cr 박막을 증착하였다. 사진식각 공정에 의해  $1\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는 게이트 홀 패턴을 정의한 뒤 RIE 공정(50% O<sub>2</sub> + 50% Cl<sub>2</sub>, 150 W)을 거쳐 Cr 게이트 전극을 정의하였고, 다음으로 BOE(Buffered Oxide Etchant)를 사용하여 열 산화막을 제거하였다. 후속 공정인 Al 회생층 증착, Mo-tip 재료 증착, lift-off 공정 등은 Spindt 공정에 의거하였다. 그림 4에 제조된 Mo-tip FEA의 모양을 나타내었으며, 소자 제조 후에 관찰한 결과 Cr 게이트 전극의 벽의 경사 각도는  $\theta_i = 60^\circ$  와  $\theta_i = 90^\circ$  로 얻어졌고, 팁의 높이는  $1.1\mu\text{m}$ 로 정의되었다

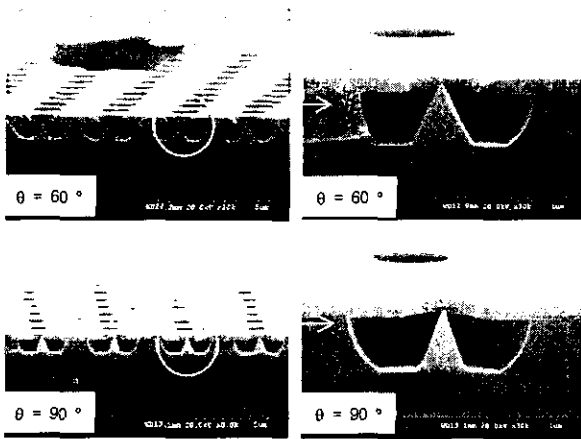
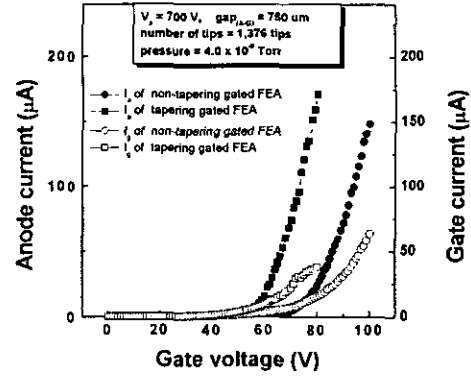


그림 5. Cr 게이트 구조를 갖는 Mo-tip FEA  
Fig. 5. Mo-tip FEA with Cr gate structure

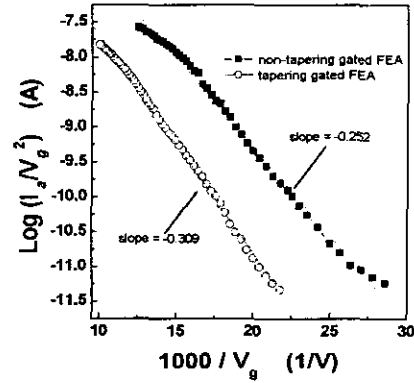
그림 6에 팁의 수가 1,376 개인 두 종류의 Mo-tip FEA(경사 게이트-FEA와 수직 게이트-FEA)에 대해 전계 방출 특성을 나타내었다. 전계 방출 특성은  $4 \times 10^{-8}$  Torr에서 측정되었으며, 양극으로는 ZnO 형광체가 도포된 ITO 유리를 팁으로부터 750 m 위에 위치시켰고 양극 전압으로 300 V를 인가하였다. 그림 6(a)의 게이트 전압-양극 전류 특성을 살펴보면,  $150\mu\text{A}$ 의 방출 전류를 얻기 위해 필요한 게이트 전압은 경사 게이트-FEA의 경우에는 100 V인 반면에 수직 게이트-FEA는 78 V로 가능하였다. 이러한 현상은 게이트 전극의 단면이 수직이 되도록 함으로써 팁에 인가되는 전계가 상대적으로 증가하기 때문인 것으로 풀이된다. 그림 6(b)는 Fowler-Nordheim plot으로 이의 선형성을 통하여 전계 방출 현상을 확인할 수 있다. 또한, 경사 게이트-FEA와 수직 게이트-FEA에 있어서 동작 개시 전압은 각각 46 V와 36 V로 얻어졌으며, Mo의 일함수를 4.5 eV로 가정할 경우 전계 증배 인자(field enhancement factor), 는 각각  $2.03 \times 10^6\text{ cm}^{-1}$ 과  $2.68 \times 10^6\text{ cm}^{-1}$ 로 산출되었다. 따라서 게이트 전극의 단면을 수직으로 가공함으로써 가 32% 정도 증가하였으며, 이를 통하여 팁에 인가되는 전계가 상대적으로 증가함을 확인할 수 있다.

FEA의 상호 컨덕턴스,  $G_m$ 은 게이트 전압에 따른 양극 전류의 변화 정도로  $G_m = \partial I_a / \partial V_g$ 로 주어지며,  $G_m$ 이 높을수록 게이트 전압의 양극 전류 조절 능력과 주파수 특성이 향상된다. 그림 7에 제조된 Mo-tip FEA에 대하여 게이

트 전압과  $G_m$ 과의 관계를 나타내었는데, 수직 게이트-FEA가 상대적으로 큰 값을 가진다는 것을 알 수 있다.  $G_m$ 은 유효 일함수, 전계 증배 인자, 방출 면적 등에 관계하는데, 여기서는 다른 요소들에 변화를 주지 않았기 때문에 주로 전계 증배 인자인  $\gamma$ 의 증가에 기인한 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 6. Mo-tip FEA의 전류-전압 특성(a) 및 Fowler - Nordheim plot(b)

Fig. 6.  $-V$  curve(a) and Fowler-Nordheim plot(b) of Mo-tip FEA

#### 4. 결 론

Mo-tip FEA에 있어서 게이트 전극 재료인 Cr 박막을 수직 벽을 갖도록 증착, 식각하는 조건을 설정하고, 이를 적용하여 소자를 구현하는 과정을 통하여 다음과 같은 점들을 알 수 있었다.

1) Cr 박막의 스퍼터링 증착에 있어서 기판 온도,  $T_s = 300^\circ\text{C}$ 에서는 주 결정성이 (110)에서 (211)로 변화하며, 이는 결정학적으로 보다 안정된 구조로 볼 수 있다.

2) 상기 이유로 인하여 증착된 박막에 대해 RIE 공정을 행할 경우, 식각 벽이  $T_s < 200^\circ\text{C}$ 에서는 경사 구조를 갖는 반면에  $T_s = 300^\circ\text{C}$ 에서는 수직 구조를 가짐을 확인할 수 있다.

3) Cr 게이트 전극이 수직 벽을 갖는 경우, 경사

벽을 갖는 경우에 비하여 상대적으로 낮은 동작 개시 전압, 높은 방출 전류, 그리고 증가된 상호 컨덕턴스를 갖는데, 이는 전계 증배 인자,  $\beta$ 가 증가함으로써 동일한 게이트 전압 하에서도 턴에 인가되는 전계가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

**감사의 글**

본 연구는 LG 전자 디스플레이 Device 연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 진심으로 감사를 드립니다.

[2] J.A.Thornton, influence of apparatus geometry and deposition conditions on the structure and topography of thick sputtered coatings, J.Vac.Sci.Technol., 11, 4, 666 (1974)

[3] H.T.G.Hentzell, C.R.M.Grovenor and D.A.Smith, Grain structure variation with temperature for evaporated metal films, J.Vac.Sci.Technol., A, 2, 2, 218(1984)

[4] 주병권, 김 훈, 서상원, 박종원, 몰리브덴 팁 전계 방출 소자를 이용한 CRT의 냉음극 전자총의 제조 및 특성 평가, 전기학회 논문지 제50c권 8호, 409-413 (2001)

**참 고 문 헌**

[1] C.Gautier, H.Moussaoui, F.Elstner and J.Machet, Comparative study of mechanical and structural properties of CrN films deposited by d.c. magnetron sputtering and vacuum arc evaporation, Surf. Coat. Technol., 86-87, 254 (1996)

**저 자 소 개**



**주 병 권 (朱炳權)**  
 1962년 12월 2일 생. 1986년 서울시립대 전자공학과 졸업. 동대학원 전자공학과 졸업(석사). 1995년 고려대 전자공학과 졸업(공학박). 1995년 3월 현재 KIST 정보재료소자연구부 선임연구원. 관심분야 : FPD, MEMS, Packaging

Tel : 02-958-5775  
 E-mail : jbk@kist.re.kr



**서 상 원 (徐祥源)**  
 1972년 4월 7일 생. 1999년 2월 충북대 반도체과학과 졸업. 2001년 2월 충북대 반도체공학과 졸업(석사). 2001년 3월~현재 B&P SCIENCE 선임연구원. 관심분야 : SOI 소자, 디스플레이 소자



**김 훈 (金勳)**  
 1970년 5월 23일 생. 1997년 2월 상지대 물리학과 졸업. 1999년 8월 경희대 대학원 물리학과 졸업(석사). 1999년 9월~현재 경희대 물리학과 박사과정. 주 관심분야 : 금속팁 전계방출소자



**이 윤 회 (李允熙)**  
 1963년 2월5일 생. 1985년 고려대 물리학과 졸업. 1987년 동 대학원 물리학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 물리학과 졸업(이박). 1987년 포항공대 연구원. 1988~1994년 KIST 정보전자연구부 연구원. 1994년~현재 KIST

정보재료소자연구센터 선임연구원. 관심분야 : CNT, ELD  
 Tel : 02-958-5772  
 E-mail : lyh@kist.re.kr