

낮은 수소 함유량을 갖는 유사 다이아몬드 박막의 몰리브덴 팁 전계 방출 소자 응용

論 文
48C-2-2

Application of Low-hydrogenated Diamond-like Carbon Film to Mo-tip Field Emitter Array

朱炳權*, 鄭載勳**, 金 勳*, 李允熙*, 吳明煥*

(Byeong-Kwon Ju, Jae-Hoon Jung, Yun-Hi Lee, Hoon Kim, Myung-Hwan Oh)

Abstract - Low-hydrogenated DLC films were coated on the Mo-tip FEAs by 'layer-by-layer' process based on the plasma-enhanced CVD method. The hydrogen content in the DLC film deposited by the 'layer-by-layer' process was appeared to be remarkably lowered through SIMS analysis. Also, the low-hydrogenated DLC-coated Mo-tip FEA showed good potentiality for FED applications in terms of turn-on voltage, emission current, emission stability and light emitting uniformity.

Key Words : FED(field emission display), Mo-tip FEA(field emitter array), DLC(diamond-like carbon), layer-by-layer process

1. 서 론

Spindt 공정을 이용하여 제조된 Mo-tip FEA(field emitter array) 상에 다이아몬드와 관련된 재료들을 코팅함으로써 전계 방출 특성을 향상시키려는 시도는 최근에 이르러 매우 활발히 진행 중이다[1-3]. 일반적으로 PECVD 등의 방법에 의해 증착되는 DLC(diamond-like carbon)는 필연적으로 약 20~30 at.% 이상의 수소를 함유하고 있으며, 이러한 수소에 의해 sp³ 결합률이 낮아짐에 따라 막의 기계적 강도가 약화되는 단점이 있다. 이와 함께 DLC 내의 수소 함량을 낮추면 turn-on 전압이 감소하고 방출 전류는 증가하며, 아울러 전류 안정성도 향상된다는 실험 결과들이 보고되고 있다[4-7]. DLC 내의 수소 함량을 줄이기 위해 filtered vacuum arc나 이온 빔을 이용한 증착법들이 발표되어 왔으며, 최근에는 증착 및 표면 처리의 반복 과정을 통해 300 °C 이하의 저온에서 매우 낮은 수소 함유량을 갖는 DLC를 얻을 수 있는 layer-by-layer 방법이 제안되었다[4-7].

본 연구에서는 'layer-by-layer' 방법에 의해 증착된 DLC 막과 이를 코팅한 Mo-tip FEA 소자와 연관된 연구 결과들을 토대로[4-8], DLC 막에 대한 SIMS 분석 및 FED 응용성에 관한 연구를 기술하고자 한다.

2. 수소 함유량이 낮은 DLC 막의 증착 및 SIMS 분석

그림 1에 보인 바와 같이 CH₄/H₂/He 혼합 기체에 의한 증착 및 CF₄/He 플라즈마에 의한 표면 처리의 반복 과정을 특징으로 하는 'layer-by-layer' 방법과 관련하여 공정 방법, DLC 막의 세 특성, 그리고 전계 방출 효과 등에 관해서는 앞서 보고된 바 있다[4-7]. 표1은 PECVD 장치를 이용하여 일반적인 DLC와 layer-by-layer 방법에 의한 DLC 막의 공정 조건을 요약한 것이다.

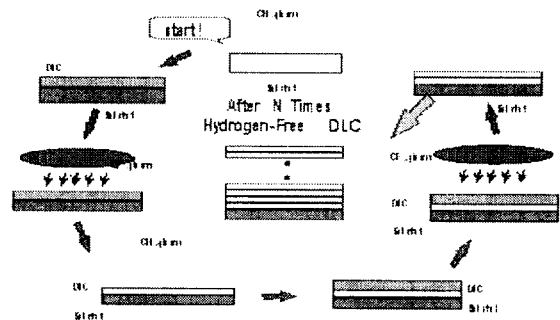


그림 1 'Layer-by-layer' 증착방법에 의한 DLC 증착 공정
Fig. 1 DLC deposition process based on 'layer-by-layer deposition method'

그림 2는 일반적인 PECVD 방법 및 'layer-by-layer' 방법에 의해 실리콘 기판 상에 증착된 DLC 막에 대한 SIMS 분석 결과이다. 'Layer-by-layer' 방법에 의한 DLC 막의 경우 일반적인 DLC에 비해 상대적으로 수소 함유량이 수십분의 일 정도로 감소함을 알 수 있다. 이러한 SIMS 분석과 FTIR 투과 스펙트럼 결과를 토대로 할 때[8], 'layer-by-layer' 방법을 따른 DLC 막의 수소 함유량은 1 at.% 이내로 판단된다.

* 正 會 員 : KJST 情報材料·素子研究센터

學生研究員/先任研究員/責任研究員

** 正 會 員 : 大宇高等技術研究院 電子材料研究室 先任研究員

接受日子 : 1998年 4月 11日

最終完了 : 1998年 12月 14日

표 1 일반적인 PECVD 방법 및 'layer-by-layer 방법'에 의한 DLC의 형성 조건

Table 1 DLC deposition conditions by conventional PECVD and 'layer-by-layer process'

Deposition condition	Conventional DLC	Layer-by-layer process	
		DLC deposition	CF ₄ plasma exposure
rf power	100	100	100
Pressure (mTorr)	20	20	25
Gas flow rate(sccm)			
He	50	50	50
H ₂	5	5	0
CH ₄	3	1	0
CF ₄	0	0	30
Substrate temperature(K)	300	300	300
Time (seconds)	100	100	140

3. Mo-tip FEA 패널에의 DLC 응용

1.76 인치급 FED 용 Mo-tip FEA를 제조하고 tip 위에 'layer-by-layer 방법'에 의해 DLC 막을 증착하여 소자 응용성을 평가하여 보았다. Spindt 공정을 이용한 Mo-tip FEA의 제조 공정은 앞서 보고된 바 있으며[8-10], DLC 막의 코팅 두께는 200 Å으로 하였는데, 이는 turn-on 전압과 방출 전류를 고려하여 실험적으로 설정된 값이다[10]. Mo-tip FEA의 규격 및 lay out은 그림 3과 같다.

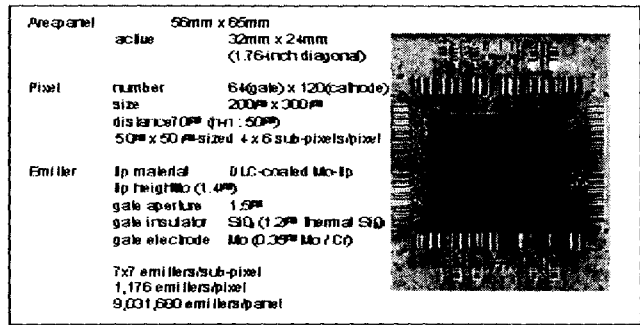
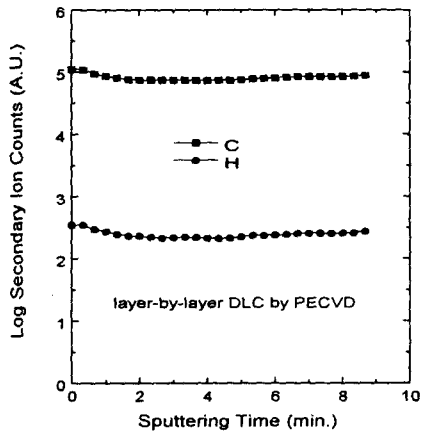
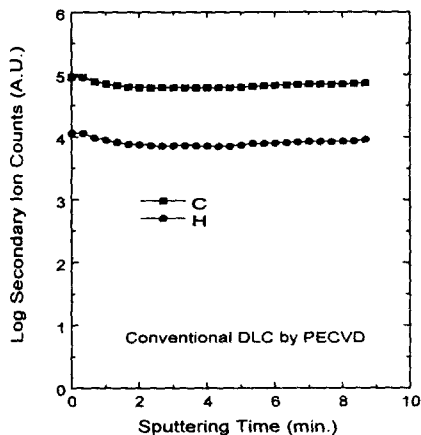


그림 3 1.76 인치급 FED 용 Mo-tip FEA의 규격 및 lay out
Fig. 3 Specification and lay out of Mo-tip FEA for 1.76-inch FED application



(a)

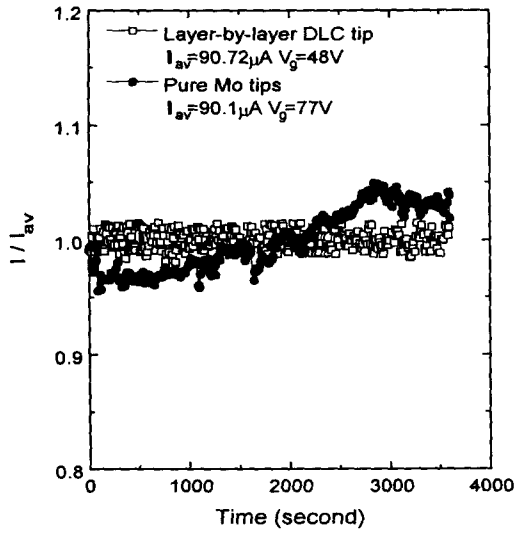


(b)

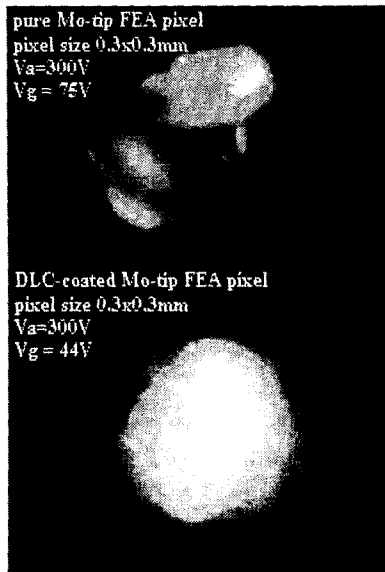
그림 2 일반적인 PECVD 방법(a) 및 'layer-by-layer 방법'(b)에 의해 증착된 DLC 막의 SIMS 분석 결과
Fig. 2 SIMS results of DLC film deposited by conventional PECVD(a) and 'layer-by-layer process'(b)

그림 4는 제조된 Mo-tip FEA의 테스트 패턴용 소자들을 대상으로 하여 순수한 Mo-tip과 DLC가 코팅된 Mo-tip에 대해 방출 전류 표동 특성과 단위 pixel의 발광 균일도를 평가한 결과이다. 그림 4(a)의 경우 양극 전압을 $V_a = 300$ V, 평균 방출 전류를 $I_{av} \sim 90 \mu A$ 로 유지한 상태에서 1 시간 동안의 전류 변화를 측정한 결과로 순수한 경우와 낮은 수소 함량의 DLC가 코팅된 경우의 평균 전류 변화율이 각각 9.2%와 0.9%로 나타났다. 90 μA 정도의 양극 전류에 대한 발광 패턴을 살펴보면 그림 4(b)에 보인 바와 같은데, DLC 코팅에 의해 발광 균일도가 향상됨을 명백히 알 수 있다.

표 2는 순수한 Mo-tip FEA와 일반적인 PECVD 방법에 의해 증착된 DLC(표 1 참조) 및 'layer-by-layer 방법'에 의한 낮은 수소 함유량을 갖는 DLC가 코팅된 Mo-tip FEA에 대하여 전계 방출 성능을 비교한 것이다. Turn-on 전압 (V_{on}) 및 방출 전류(I_a) 향상의 경우, DLC 본래의 낮은 일함수(ϕ)와 함께 layer-by-layer 방법에 의해 증착된 DLC에 있어서 CF₄ plasma 처리가 DLC의 gap state density를 변화시켜 Fermi 준위를 전도대 측으로 이동시킴에 따라 n형 특성을 갖는다는 점을 토대로 해석될 수 있다[5]. 일반적인 PECVD 방법에 의해 증착된 200 Å 두께의 DLC 막이 코팅된 Mo-tip FEA의 경우에는 앞서 보고된 연구 결과를 참고로 하였으며[6], 이에 비하여 낮은 수소 함유량의 DLC 막에 있어서 전류 표동 특성, 즉 전류 변화량(ΔI)이 상당히 작은 것은 C-C 결합이 C-H_n 결합에 비해 결합력이 강하여 결합 파괴(bond breaking)가 일어날 확률이 적어 보다 안정된 상태에서 동작하기 때문이다[7]. 따라서 전계 방출 재료로서의 DLC의 특성인 낮은 일함수(이로 인한 동작 개시 전압의 감소 및 전계 방출 전류의 증가)와 물리-화학적 내구성(이로 인한 방출 전류의 안정성)을 얻기 위해서는 낮은 수소 함유량을 갖는 DLC의 사용이 바람직한 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 4 제조된 Mo-tip FEA의 방출 전류 변동 특성(a) 및 발광 균일도(b) 비교

Fig. 4 Comparison of emission current fluctuation(a) and emitting light uniformity(b) of the fabricated Mo-tip FEA

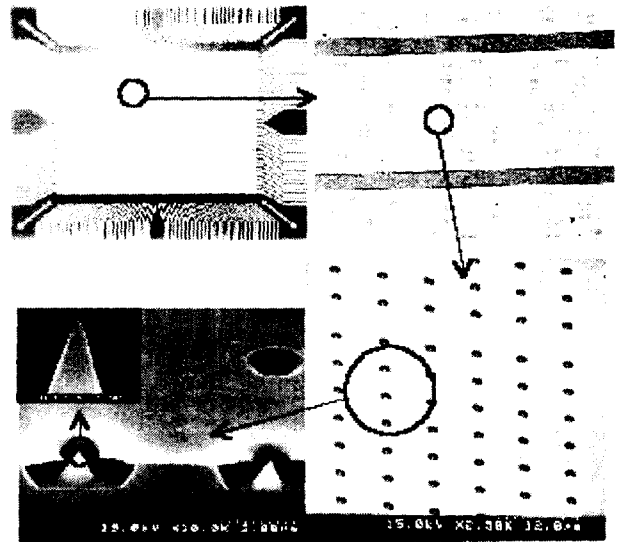
수소 함유량이 적은 DLC가 코팅된 Mo-tip FEA의 구조와 이로부터 전계 방출된 전자가 형광체를 충돌 여기함으로써 발광되는 모양을 각각 그림 5의 (a)와 (b)에 나타내었다. Emitter의 구조적 균일도는 가장자리의 약 10~15% 정도의 영역 내에서 저하되는 것으로 관찰되었으며, 이러한 불균일성과 함께 tip과 형광체간의 거리가 약 1.5 mm에 이르는 원인으로 인해 방출된 전자선이 분산됨을 알 수 있다. 또한

microlithography 공정 오차에 의해 gate aperture 직경이 가운데 부분과 가장자리 부분이 차이가 남으로 인하여 낮은 gate 전압 인가시 그림 5(b-c)와 같이 발광 패턴이 균일하지 않으나, gate 전압을 증가시킬 경우 그림 5(a)에 보인 바와 같이 전반적으로 균일한 발광 패턴을 얻을 수 있었다.

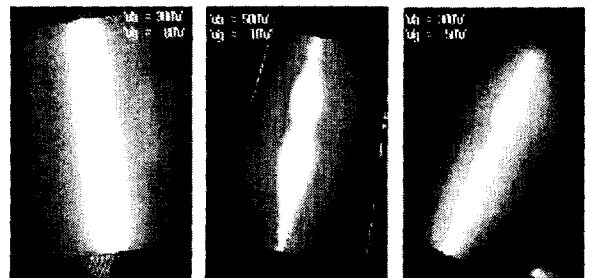
표 2 Mo-tip FEA의 성능 비교

Table 2 Performance comparison of Mo-tip FEA

	$V_{on}(V)$	$I_a(\mu A)$	$\Delta I(\%)$	$\Phi(eV)$
Pure Mo-tip FEA	60	166	9.2	4.5
Conventional DLC-coated Mo-tip FEA	46	280	12.7	2.7
Low hydrogenated DLC-coated Mo-tip FEA	30	831	0.9	2.1



(a)



(b)

그림 5 Mo-tip FEA의 구조(a) 및 R-G-B 발광 패턴 (b)

Fig. 5 Structure of Mo-tip FEA(a) and R-G-B light emitting patterns(b)

4. 결 론

'Layer-by-layer 방법'에 의해 DLC 막을 증착하고 이를 Mo-tip FEA에 코팅함으로써 FED의 응용 가능성을 평가하였다. 본 실험을 통하여 얻어진 연구 결과들을 간단히 요약하면 다음과 같다.

1) PECVD 장치를 이용하여 'layer-by-layer' 방법에 의해 증착된 DLC의 경우, 일반적인 PECVD에 의한 DLC에 비해 수소 함유량이 수십 분의 일로 감소함을 SIMS 분석을 통해 확인하였다.

2) 이와 같이 낮은 수소 함유량을 갖는 DLC를 Mo-tip FEA에 코팅하여 전계 방출 성능을 평가한 결과, turn-on 전압, 방출 전류 밀도, 방출 균일도 및 안정성에 있어서 순수한 Mo-tip FEA나 일반적인 DLC가 코팅된 Mo-tip FEA에 비해 상대적으로 우수한 특성을 얻을 수 있었다.

3) DLC가 코팅된 Mo-tip FEA를 이용하여 1.76 인치급 FED 응용도를 평가한 결과 R-G-B 발광 특성은 얻을 수 있었으나, emitter의 균일도 및 수율 면에서 공정상 개선의 여지가 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구의 진행에 있어서 DLC 코팅에 도움을 주신 경희대학교 물리학과 장진 교수님 연구실, 저전압 형광체를 제공하여 주신 삼성종합기술원의 김종민 박사팀과 오리온전기(주) 평판연구실의 이남양 박사, 김봉철 선임께 감사드립니다.

참고 문헌

[1] C.M.Lin, F.Y.Chuang, J.T.Lai, C.H.Wang, T.Y.Hsiu, M.Yokoyama, I.N.Lin, J.H.Tsai, C.M.Huang, W.C.Wang, "Enhancement of electron emission characteristics of platform-shaped Mo emitters by diamond-like carbon coatings," Proc.IVMC'97, p.151 (1997)

[2] J.H.Jung, B.K.Ju, H.Kim, M.H.Oh, S.J.Chung, J.Jang, "Effect of N-doping on the electron emission properties of DLC film on 2-inch Mo FEAs panel," Proc.IVMC'97, p.276 (1997)

[3] C.B.Choi, M.Q.Ding, V.V.Zhirnov, A.F.Myers, J.J.Hren and J.J.Cuomo, "Electron emission characteristics of a-diamond coated field emitters," Proc.IVMC'97, p.527 (1997)

[4] K.C.Park, J.H.Moon, S.J.Chung, J.Jang, M.H.Oh, W.I.Milne, "Deposition of hydrogen-free diamond-like carbon film by plasma enhanced chemical vapor deposition," Appl.Phys.Lett., vol.68, no.25, p.3594 (1996)

[5] K.C.Park, J.H.Moon, S.J.Chung, J.Jang, M.H.Oh, W.I.Milne, "Deposition of n-type diamond-like carbon by using the layer-by-layer technique and its

electron emission properties," Appl.Phys.Lett., vol.70, no.11, p.1381 (1997)

[6] 주병권, 정재훈, 김 훈, 이상조, 이윤희, 차균현, 오명환, "몰리브덴 팁 전계 방출 소자의 제조 및 다이아몬드 상 카본의 코팅 효과," 전기전자재료학회논문지, 제11권, 7호, p.508 (1998)

[7] J.H.Moon, S.J.Chung, W.I.Milne, M.H.Oh, J.Jang, "Stability of field emission current for hydrogen-free diamond-like carbon films prepared by layer-by-layer technique," Proc.IVMC97, p.455 (1997)

[8] J.H.Jung, B.K.Ju, Y.H.Lee, J.Jang and M.H.Oh, "Enhancement of electron emission efficiency and stability of molybdenum-tip field emitter array by diamond like carbon coating," IEEE Electron Device Letter, vol.18, no.5, p.197 (1997)

[9] 정재훈, 주병권, 이윤희, 장진, 오명환, "DLC 증착에 의한 몰리브덴-팁 전계방출소자의 방출 효율과 안정성 개선에 대한 연구," 응용 물리, 11권, 1호 p.89 (1998)

[10] J.H.Jung, "Effect of Hydrogen-free Diamond-like Carbon Coating on Molybdenum-tip Field Emitter Array," Ph.D. Thesis, Kyung Hee University, pp.88-103 (1997)

저 자 소 개

주 병 권 (朱炳權)
전기학회논문지 제48권 제1호 참조

정 재 훈 (鄭載勳)
전기학회논문지 제48권 제1호 참조

김 훈 (金勳)
전기학회논문지 제48권 제1호 참조

이 윤희 (李允熙)
전기학회논문지 제48권 제1호 참조

오 명 환 (吳明煥)
전기학회논문지 제48권 제1호 참조