

PECVD에 의해 작성된 탄소계 박막의 전계전자방출특성에 대한 RF power 의존성에 관한 연구

RF power dependence on field emission property from carbon thin film grown by PECVD

류정탁, 김연보*, K. Oura**

(Jeong-Tak Ryu*, Yeon-Bo Kim*, Kenjirou Oura**)

Abstract

Using plasma-Enhanced chemical vapor deposition (PECVD), carbon thin films as electron field emitter were fabricated. These carbon thin films were deposited on Si(100) substrate at several RF power. These films were estimated by raman spectroscopy, scanning electron microscopy, and field emission. The field electron emission property of these carbon thin films was estimated by a diode technique. As the result, we observed that the field emission properties of these films were changed significantly with the RF power. The field emission properties were promoted by higher RF power. These results are explained as change of surface morphology and structural properties of carbon thin film.

Key Words(중요용어) : carbon thin film, PECVD, FED (field emission display), RF power, surface morphology.

1. 서론

CRT (Cathode Ray Tube) 디스플레이는 휘도, 시야각, Full color 등의 우수한 특성들 때문에 현재 디스플레이 중 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 유리로 만들어진 진공관과 전자 편향을 위해 보조 설비가 필요하기 때문에 평면화, 박막화, 대형화가 어렵다는 단점이 있다. 그래서 현재 LCD (Liquid Crystal Display), PDP (Plasma Display Panel) 등과 같은 평면 디스플레이가 많은 주목을 받고 개발, 실용화되어 있다.

LCD는 CRT와 비교해서 박막화, 경량화, 저소비전

력이 가능하다. 그러나, LCD는 액정분자의 배향을 기관간의 전압으로 제어하기 때문에 응답속도가 늦을뿐만 아니라(수 10 msec), 시야각이 좁다는 단점이 있다¹⁾. 또한 PDP는 구조적인 간단성, 대형화 및 넓은 시야각 등의 장점과 아울러 자기발광형이므로 휘도가 높은 특성을 가지며, CRT보다 박막화 및 경량화가 가능하다. 따라서 현재 40 ~ 50 인치의 대형 디스플레이에 응용되고 있다. 그러나, 소비전력과 생산비가 높은 단점이 있음으로¹⁾, LCD나 PDP로서 CRT의 단점을 완전히 보완하는 것은 어렵다. 그러므로 CRT를 대신하는 차세대 디스플레이로서 FED (Field Emission Display)가 현재 큰 관심을 모으고 있다. 이것은 FED가 앞에서 언급한 CRT와 LCD의 우수한 특성을 동시에 가지기 때문이다²⁾.

본 연구에서는 차세대 FED의 냉음극 전자방출재료로서 주목 받고있는 탄소계 재료³⁾를 PECVD

* 대구대학교 정보통신공학부
(경북 경산시 진량읍 내리리 15번지 대구대학교
Fax : 053-850-6619,
E-mail : jryu@taegu.ac.kr)

** 일본 Osaka University

(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 방법으로 제작하여 박막의 전계전자방출특성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 연구에서 사용된 탄소계 박막은 PECVD를 사용하여 Si(100) 기판 위에 제작되었다⁴⁾. PECVD에서 플라즈마를 발생시키기 위해서는 직류, 고주파, 마이크로파 등이 사용되며, 본 연구에서는 13.56MHz의 고주파를 사용했다. 박막을 증착하기 전에 기판에 부착된 자연 산화막을 제거하기 위해 HF 용액 처리를 한 후 아세톤, 메탄올, 증류수에서 초음파 세척기를 사용하여 표면을 세정하였다. 그 후 기판을 건조시켜 PECVD 장치 내부에 장착하였다. PECVD 장비는 tube molecular pump를 사용하여 1×10^{-3} Pa 이하로 초기 진공 상태를 만든 다음 CH₄ 가스를 반응실 내로 주입시켜 가스압을 7Pa이 되도록 하고 RF 전력을 공급하여 플라즈마를 발생시켰다. 탄소계 박막의 성장을 위해 본 실험에서 사용된 성장조건은 표 1과 같다.

표 1 탄소계 박막의 증착조건

Table 1. Conditions of PECVD for carbon thin film growth

substrate	P-doping N-type Si(100)
RF	13.56MHz
Power	50W ~ 150W
Gas	CH ₄ (10 sccm)
Base Pressure	1×10^{-3} Pa
Gas Pressure	7Pa
Substrate temperate	600℃
Deposition time	120min
Thickness of carbon thin film	300nm

2.2 특성분석

전계전자방출특성의 평가는 다이오드 방식으로 1

$\times 10^{-10}$ Torr 이하의 초고진공 안에서 측정하였다. anode는 glass 위에 ITO를 코팅하여 사용하였으며 anode와 cathode 사이를 절연시키기 위해 직경 125 μ m의 glass fiber를 사용하였다⁵⁾.

증착된 탄소계 박막의 표면 morphology, 결정성, 결합형태는 주사형전자현미경 (Scanning Electron Microscopy : SEM)과 Raman spectroscopy로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 PECVD에 의해 증착된 탄소계 박막의 증착속도와 RF power의 관계를 나타낸 것이다. RF power가 낮을 때에는(100W 이하), RF power의 증가와 함께 박막의 증착속도도 증가했다. 그러나 RF power가 120W 이상일 때는 박막의 증착속도는 점차적으로 포화되었다. 낮은 RF power에서는 CH₄를 완전히 해리할 수 있을 정도의 에너지를 가지지 못하기 때문에 CH₄의 유량속도와 해리속도는 평형을 이루게 된다. 그러므로 활성이온이나 radical의 양이 증가하지 못하게 되어 증착속도는 포화하게 된다.

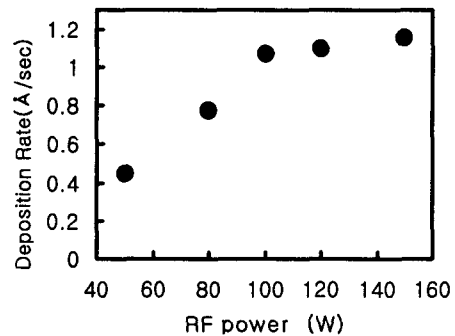


그림 1 PECVD에서의 RF power에 따른 탄소계 박막의 성장비.

Fig. 1 Deposition rate of carbon thin film versus RF power.

그림 2는 여러 가지 RF power에서 Si 기판 위에 증착된 탄소계 박막에 공급된 전계와 방출전류밀도의 관계(전계전자방출특성)를 나타낸 것이다. 전계전자방출특성의 평가에 대해 박막 두께의 영향을 배제하기 위하여 본 실험에서 사용된 탄소계 박막은 RF power가 50W일 때의 박막 두께를 기준으로 하여

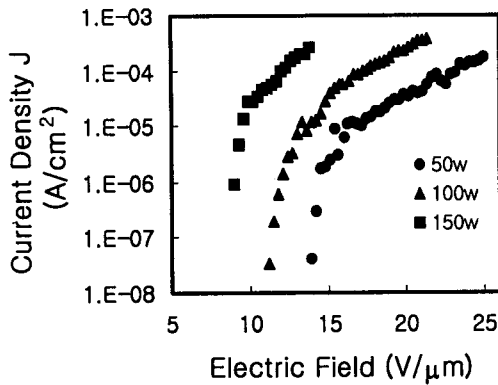


그림 2. 여러 가지 RF power에서 성장된 탄소계 박막의 전계전자방출특성

Fig. 2 Field emission prosperities of carbon thin films grown with several RF power.

박막 두께가 일정하도록 증착시간을 조절하여 제작하였다. 박막의 두께는 모두 약 300nm이었다. 그러므로 그림 2의 결과는 오직 RF power의 영향에 따른 전계전자방출특성의 변화라고 할 수 있다. 탄소계 박막의 제작을 위한 RF power는 50W, 80W, 100W, 120W, 150W를 사용하였으나, 여기서는 대표적으로 50W, 100W, 150W에 의해 제작된 박막에 대한 전계전자방출특성만을 보였다.

그림 2에서 보는 것처럼 RF power 50W에서 성장된 박막의 경우 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 방출전류밀도를 얻기 위해서는 약 $15\text{V}/\mu\text{m}$ 의 전계가 요구된다. 그러나 100W의 경우는 약 $12\text{V}/\mu\text{m}$ 의 전계가 요구되며, 150W의 경우는 약 $9\text{V}/\mu\text{m}$ 의 전계가 요구된다. 즉, RF power가 증가할수록 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 방출전류밀도를 얻기 위해 요구되는 전계의 세기는 점차 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2의 결과를 기초로 하여 각각의 RF power에서 성장된 박막에 대한 문턱전계 (threshold field) 값을 나타내었다. 여기서 문턱전계란 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 방출전류밀도를 얻기 위해서 탄소계 박막에 인가해야 하는 전계값으로 정의된다⁶⁾. 문턱전계는 RF power 100W까지는 급격하게 감소하며, 120W부터는 감소의 폭이 완만하였다. 이 결과로부터 RF power가 증가할수록 전계전자방출특성이 크게 개선됨을 알 수 있다.

각각의 RF power에서 성장된 탄소계 박막의 결정

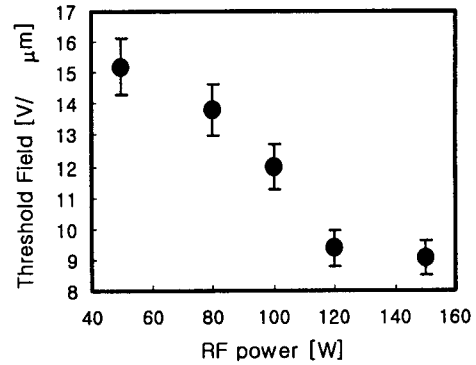


그림 3. 여러 가지 RF power에서 증착된 탄소계 박막에 대한 문턱전계값의 변화.

Fig. 3. Variation of threshold field for emission of $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$, for carbon thin films grown at various RF power.

성과 결합형태를 분석하기 위해 Raman 분광분석법으로 평가했다. 그림 4는 Raman 분광분석결과를 나타내고 있다. 그림에서 보면 1355cm^{-1} , 1580cm^{-1} , 그리고 1620cm^{-1} 부근에 peak들이 존재한다. 1355cm^{-1} 와 1580cm^{-1} 의 peak들은 각각 sp^2 graphite에 의한 G-band와 disordered micro-crystalline graphite에 의한 D-band로 불리워진다⁷⁾. 그리고 1620cm^{-1} 의 peak는 탄소의 이중결합에 의한 것이다⁸⁾. 이 Raman 분광분석결과로부터 본 연구에서 사용된 탄소계 박막은 graphite 구조가 무질서하게 분포된 크기가 약 20Å 정도의 GC (Glassy Carbon : 무정형탄소)라는 것을 알 수 있다^{8,9)}.

본 연구에서 사용된 탄소계 박막의 결정성과 RF power의 관계를 분석하기 위하여 그림 4의 Raman 분광결과로부터 D peak, G peak, 이중결합 peak의 비와 각각의 peak들의 FWHM(Full Width Half Maximum)의 폭을 비교하였다. 그 결과 peak 비의 값과 FWHM의 값은 큰 변화를 보이지 않았다. 이 결과로부터 탄소계 박막의 결정성, 즉 박막표면의 화학결합상태는 거의 같다고 말할 수 있다. 그러나, 그림 2에 의하면 RF power의 변화에 따라 전계전자방출특성은 변화되었다. 그러므로 적어도 본 연구에서는 박막표면의 화학결합상태가 아닌 다른 요인에

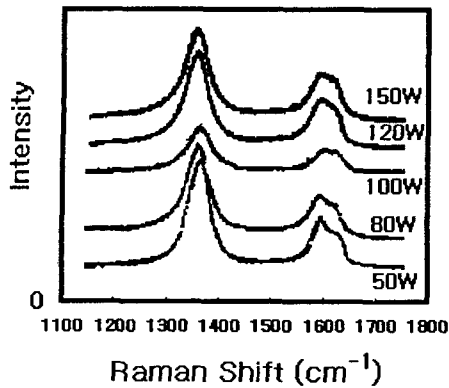


그림 4. 여러 가지 RF power에서 성장된 탄소계 박막에 대한 Raman 분광분석 결과.

Fig. 4 Raman spectroscopy results of carbon thin films grown with several RF power.

의하여 탄소계 박막의 전계전자방출특성이 변화되었음을 의미하고 있다.

전계전자방출특성과 박막의 표면형태와의 관계를 조사하기 위하여 그림 1에서 나타낸 각각의 탄소계 박막의 표면을 SEM으로 분석하였다. 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 RF power 50W에서 성장된 탄소계 박막, 그림 5(b)는 RF power 100W에서 성장된 탄소계 박막, 그림 5(c)는 RF power 150W에서 성장된 탄소계 박막의 SEM 사진이다.

이들 탄소계 박막의 표면들은 거의 같은 유형을 보이고 있다. 선상구조와 같은 미세한 구조가 서로 독립되어 있는 것이 아니라, 서로 실들이 얽혀져 있는 것과 같은 구조를 하고 있다. 이들 선상구조에 의하여 둘러 쌓인 cell들은 RF power가 증가할수록 조금씩 작아졌다. 즉, 박막의 표면형태는 더욱 섬세하게 되었다.

그림 2의 전계전자방출특성과 그림 5에서 나타낸 SEM에 의한 박막표면의 분석결과를 보면 전계에 의해 방출된 전류밀도는 박막의 표면형태에 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 예측된다. 그림 5에서 보는 것처럼 RF power가 증가할수록 표면은 더욱 섬세하게 되었다. 그리고 그림 2의 결과에 의하면 $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 방출전류밀도를 얻기 위해 필요한 전계값은 약 $15\text{V}/\mu\text{m} \rightarrow$ 약 $12\text{V}/\mu\text{m} \rightarrow$ 약 $9\text{V}/\mu\text{m}$ 로 감소했다. 이것은 박막표면이 RF power가 올라갈수록

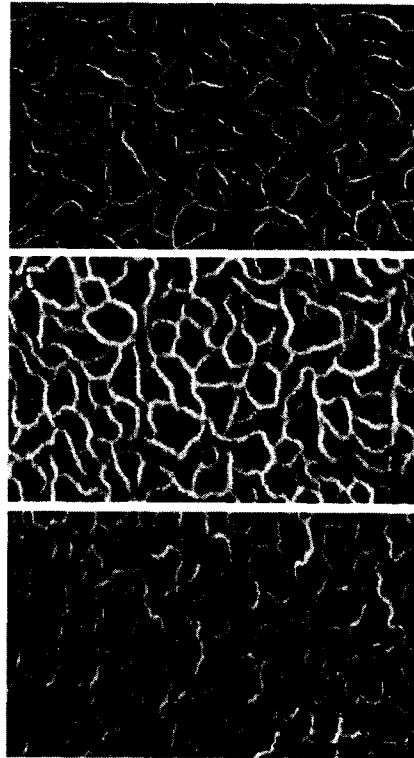


그림 5. RF power의 변화에 따른 탄소계 박막의 SEM images. (a) 50W, (b) 100W, and (c)150W

Fig. 5 SEM images versus variation of RF power. (a) 50W, (b) 100W, and (c)150W

수록 섬세해짐에 따라 박막 표면에 유기되는 전계의 세기가 높아져서 방출전자는 상대적으로 낮은 전계에서 방출되기 시작했기 때문이라 생각된다.

위의 결과로부터 탄소계 박막을 이용한 FED의 냉음극 cathode의 전계전자방출특성은 박막표면의 morphology에 깊은 관계가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 PECVD법을 사용하여 증착된 탄소계 박막에 대한 전계전자방출특성을 평가하였다. 증착된 박막들의 전계전자방출특성은 RF power에 크게 의존했다. RF power가 증가할수록 전계전자방출특성은 크게 개선되었다. 이것은 박막성장 시 RF

power가 증가할수록 박막 표면의 morphology가 낮은 전계에 의해서도 많은 전자를 방출할수 있는 미세한 구조로 변화되었기 때문이었다. 그러므로 탄소계 박막에 의한 전계전자방출특성은 표면의 형태에 매우 의존한다는 것을 알 수 있었다.

investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films", *Physical Review B* 29, pp3482~3488 (1984).

참고 문헌

- [1]. S.I. Matsumoto, Ohmsha, "Electronic Display" (1995).
- [2]. J.M. Kim and J.P. Hong, "Trend and Prospect of Field Emission Display", *The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*. 10, pp608~625, 1997.
- [3]. A. Hiraki, T. Ito, and A. Hatta, "Diamond semiconductor of negative electron affinity -Potential material for flat display panel-", *The Japan Society of Applied Physics, Oyo Buturi*, 66, pp235~241, (1997).
- [4]. Y.G. Baek, T. Ikuno, J.T. Ryu, S.I. Honda, M. Katayama, K. Oura, and T. Hirao, "Field electron emission from amorphous carbon films grown in a pure methane plasma", *Journal of Materials Research* (submitted).
- [5]. T. Ikuno, Y. Kawano, Y.G. Baek, J.T. Ryu, M. katayama, and K. Oura, "Influence of interface metal on field emission from carbon film", *Journal of the surface science society of japan, HYOMEN KAGAKU*, 21, pp502~506 (2000).
- [6]. B.S. Satyanarayana, A. Hart, W.I. Milne, J. Robertson, "Field emission from tetrahedral amorphous carbon", *Diamond and Related Materials* 7, pp656~659 (1998).
- [7]. J.H. Kaufman and S. Metin, "Symmetry breaking in nitrogen-doped amorphous carbon: Infrared observation of the Raman-active G and D bands", *Physical Review B* 39, pp13053~13060 (1989).
- [8]. H.C. Tsai and D.B. Bogy, "Characterization of diamondlike carbon films and their application as overcoats on thin-film media for magnetic recording", *J. Vac. Sci. Technol. A5*, pp3287~3312 (1987).
- [9]. R.O. Dillon and John A. Woollam, and V. Katkanant, "Use of Raman scattering to