

## 진공아크방전으로 제작된 다이아몬드상 탄소 박막의 질소 도우핑에 따른 전계 방출 특성

최만섭<sup>1)</sup>, 김용상<sup>1)</sup>, 이해승<sup>2)</sup>, 박진석<sup>2)</sup>, 전동렬<sup>3)</sup>, 김종국<sup>4)</sup>  
<sup>1)</sup>명지대학교 공과대학 전기공학과, <sup>2)</sup>한양대학교 공과대학 전기공학과  
<sup>3)</sup>명지대학교 이과대학 물리학과 <sup>4)</sup>삼성전자(주) 생산기술센터

### Field emission property of the nitrogen doped diamond-like carbon film prepared by filtered cathodic vacuum arc technique

M. S. Choi<sup>1)</sup>, Y. S. Kim<sup>1)</sup>, H. S. Lee<sup>2)</sup>, J. S. Park<sup>2)</sup>, D. Jeon<sup>3)</sup>, J. K. Kim<sup>4)</sup>  
<sup>1)</sup>Dept. of Electrical Eng., Myongji University, <sup>2)</sup>Dept. of Electrical Eng., Hanyang University  
<sup>3)</sup>Dept. of Physics, Myongji University, <sup>4)</sup>Samsung Electronics Co., Production Engineering Center

**Abstract**-We fabricated the conventional silicon tips coated with a diamond-like carbon (DLC) film. The DLC films are prepared by the filtered cathodic vacuum arc (FCVA) technique. With increasing nitrogen content in DLC film, the work function( $\phi$ ) and the turn-on voltage decrease and the emission current increases. This phenomenon is due to the fact that the Fermi-level moves to the conduction band by increasing nitrogen doping concentration. We have tested on the stability of the DLC film coated silicon tip during 2 hours at 500V.

#### 1. 서 론

Field emission array의 전계 방출을 이용한 평판 디스플레이의 한 종류인 field emission display (FED)는 작동 원리가 cathode ray tube (CRT)와 유사하고, 고속 동작이 가능하며, 시야각이 크고, 고해상도, 고광도 및 완전한 색 수행 능력 등의 장점들을 들 수 있다. 실리콘을 이용하여 팁을 만들면 일함수가 크고, 경도가 좋지 못하다는 단점이 있으므로[1] 실리콘 팁에다 일함수가 낮은 금속이나 다이아몬드를 코팅하여 일함수를 낮추는 동시에 경도를 높이는 방법이 최근 많이 연구되고 있다.[2] 다이아몬드와 다이아몬드상 탄소 박막은 증착시 p형 conduction의 성질을 가지나 질소를 도우핑함에 따라 일함수의 감소와 같은 전기적인 특성이 변화한다. 그러나 다이아몬드인 경우엔 도우핑 하기가 어려운 반면 다이아몬드상 탄소 박막은 여러 가지 방법을 통해 실험되어졌다.[3]~[5]

본 연구에서는 실리콘 팁에다 FCVA를 이용하여 다이아몬드상 탄소 박막을 증착하였다. 또한, 다이아몬드상 탄소 박막 증착시 질소의 양을 변화시켜

도우핑 하였으며, 초고진공 챔버에서 전류-전압을 측정하였다. 측정된 결과를 Fowler-Nordheim 곡선을 통해서 전류 방출의 유무를 알아보았고, 일함수, 전계 증배 계수(field enhanced factor,  $\beta$ ), 유효 방출 전류 면적(effective emission area,  $\alpha$ )을 구하였으며 전계 방출 전류의 안정성 향상 여부를 고찰하였다.

#### 2. 실험방법

N-type (100) 실리콘 웨어퍼를 2 $\mu$ m의 직경을 갖는 도트 마스크를 사용하여 일반적인 공정을 거쳐 1.5 $\mu$ m 높이의 팁을 만들었으며 그림1에 공정 과정을 나타내었다.

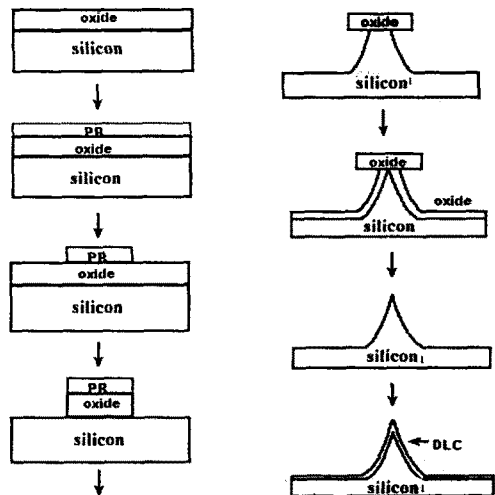


그림 1. 다이아몬드상 탄소 박막을 코팅한 실리콘 팁의 제조 공정 과정

팁을 만든 후 FCVA 장비를 이용하여 1000 A 두께의 다이아몬드상 탄소 박막을 증착시켰으며 이 때의 증착 조건을 표 1에 요약했다. 기관 전압이 -100 V일 때가 증착율, 내부응력, 표면 거칠기 등의 구조적 물성이 우수하기 때문에 이 값은 고정시켰다[6].

표 1. 다이아몬드상 탄소 박막의 FCVA 증착 조건

아크 전압/ 전류	75±25 [V] / 30 [A]
증착전 반응실 압력	5.0×10 <sup>-3</sup> [Torr]
소스 전자석	0~1.5 [A]
입구 전자석	2.5 [A]
출구 전자석	2.5 [A]
반사 전자석	1.5 [A]
증착 온도	80 [°C]
바이어스 전압	-100 [V]
증착시간	1시간

또한 질소의 도우핑 방법에는 증착시 질소를 첨가시키는 gas phase 도우핑법과 증착이 끝난 후 도우핑하는 ion shower 도우핑법이 있는데 도우핑 방법의 용이성 때문에 첫 번째 방법을 사용하였다. 질소의 양을 0, 5, 7, 그리고 10 sccm으로 변화시켜 증착하였다. 그림 2는 공정 완료 후 전자 주사 현미경으로 관찰한 소자의 사진이다.



그림 2. 다이아몬드상 탄소 박막을 증착한 후 실리콘 팁의 SEM 사진

다이아몬드상 탄소 박막을 증착한 팁의 안정성

여부를 알아보기 위해서 5×10<sup>-7</sup> Torr의 압력 조건에서 전압을 500 V로 인가하여 2시간동안 방출 전류의 변화를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

제작된 팁의 전계 방출 특성은 0~27 V/μm의 전계 범위에서 방출 전류의 양을 측정하여 그림 3에 나타낸 바, 도우핑량의 증가에 따라 동작 개시 전계가 낮아지는 경향을 보였다. 실리콘 팁의 경우 16 V/μm의 높은 동작 개시 전계에서 전자가 방출된 반면에 실리콘에 다이아몬드상 탄소 박막을 코팅한 경우 동작 개시 전계의 감소가 현저히 나타났다. 질소를 0, 5, 7, 10 sccm으로 도우핑한 다이아몬드상 탄소 박막의 경우에 각각 6.8, 4, 1.9, 0.8 V/μm의 동작 개시 전계가 측정되었다. 이는 질소 도우핑량이 증가함에 따라 Fermi 준위가 conduction band로 이동하게 되어 일함수가 작아지기 때문이다.

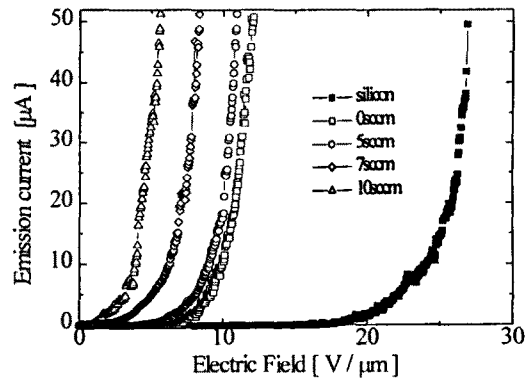


그림 3. 실리콘 팁 및 질소 도우핑된 다이아몬드상 탄소 박막이 증착한 경우의 전계 방출 전류

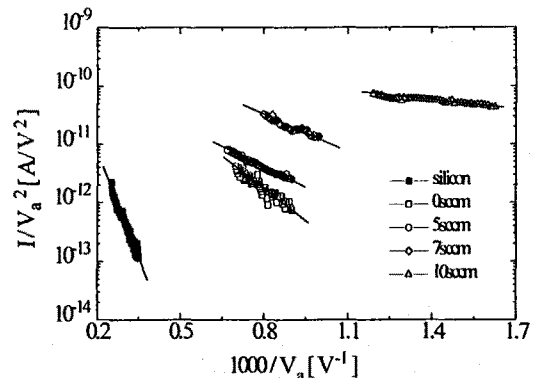


그림 4. 도우핑량에 따른 Fowler-Norheim 곡선

#### 4. 결 론

그림 4에 Fowler-Norheim 곡선을 나타낸 바 선형성을 나타내므로 전류의 성분이 전자 방출에 의한 전류임을 알 수 있다. 실리콘의 일함수를 4.3 eV로 사용하여 Fowler-Norheim 곡선으로부터 실리콘의 전계 증배 계수( $\beta$ )와 유효 방출 면적( $\alpha$ )을 구하였고, 기울기와 y축 절편값을 이용하여 다이아몬드상 탄소 박막을 코팅한 팁의 일함수와 방출 면적을 구하여 표 2에 나타내었다[7].

표 2에 나타난바와 같이 다이아몬드상 탄소 박막을 코팅한 팁의 일함수(1.86 eV)는 실리콘의 일함수(4.3 eV)보다 현저하게 감소하였으며 도우핑량이 0, 5, 7, 10 sccm으로 증가함에 따라서 일함수가 1.86, 1.43, 1.27, 0.47 eV로 감소되었음을 알 수 있었다.

표 2. 소자의 여러 가지 측정 결과

도우핑량 [sccm]	동작 개시 전계 [ $V/\mu m$ ]	일함수 [eV]	전계 증배 계수 [ $cm^{-1}$ ]	방출면적 [ $cm^2$ ]
실리콘팁	20	4.3	$2.18 \times 10^9$	$7.8 \times 10^{-14}$
0	11.7	1.86	$2.18 \times 10^9$	$4.2 \times 10^{-14}$
5	4.7	1.43	$2.18 \times 10^9$	$1.4 \times 10^{-14}$
7	1.9	1.27	$2.18 \times 10^9$	$5.2 \times 10^{-14}$
10	0.8	0.47	$2.18 \times 10^9$	$1.2 \times 10^{-14}$

그림 5에 제시된 것과 같이 500 V의 전압을 2시간동안 다이아몬드상 탄소 박막이 코팅된 실리콘 팁에 인가하여 안정성의 여부를 측정할 때 방출 전류가 30분 동안  $0.9 \mu A$ 에서  $0.35 \mu A$ 로 급격히 감소하는 안정화 시간이 지난 후 1시간 30분 동안  $0.35 \mu A$ 의 방출 전류를 유지하였다.

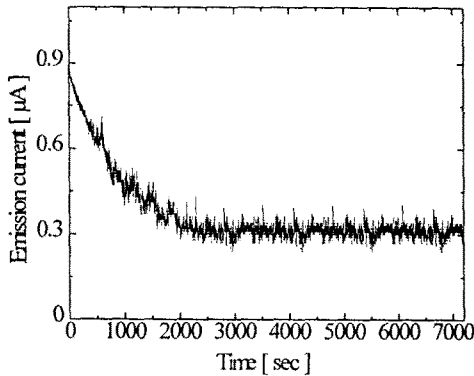


그림 5. 다이아몬드상 탄소 박막을 코팅한 팁의 안정성 향상에 대한 곡선

일반적인 프로세스를 이용하여 만든 실리콘 팁에 FCVA 장비를 사용하여 다이아몬드상 탄소 박막을 증착하였다. 증착시 기판 전압은 -100 V를 가해주었으며, 질소량을 0, 5, 7, 10 sccm으로 변화시켜 도우핑을 하였다.

초고진공 챔버에서 전류-전압 특성을 측정하여 Fowler-Norheim plot을 통해 전자 방출에 의한 전류임을 확인하였다. 질소의 도우핑량이 0, 5, 7, 10 sccm으로 증가함에 따라 동작 개시 전계의 값이 11.7, 4.7, 1.9, 0.8  $V/\mu m$ 로 작아지는 것을 알 수 있었으며 일함수의 값도 각각 1.86, 1.43, 1.27, 0.47 eV로 변화하였다. 이것은 Fermi 준위가 도우핑량에 따라서 전도대(conduction band)쪽으로 이동하기 때문이다. 다이아몬드상 탄소 박막이 코팅된 팁의 안정성에 대한 실험을 2시간동안 수행하였는데 비교적 안정된 값을 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한양대학교 지역협력 연구센터(RRC)의 일부 지원에 의하여 수행되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] J. E. Pogemiller, H. H. Busta, and B. J. Zimmerman, J. Vac. Sci. Technol., B 12(2), pp. 680-684, 1994
- [2] M. Nakamoto, T. Hasegawa, T. Ono, T. Sakai and N. Sakuma, IEDM, pp. 297-300, 1996
- [3] R. Lossy, D.L. Pappas, R.A. Roy, J.P. Doyle, and J.J. Cumo, J. Appl. Phys., 77(9), pp. 4750-4756, 1995
- [4] G.A.J. Amaratunga, and S.R.P. Silva, Appl. Phys. Lett., 68(18), pp.2529-2531, 1996
- [5] V.S. Veerasamy, J. Yuan, G.A.J. Amaratunga, W. I. Milne, K. W. R. Gilkes, M. Weiler, and L. M. Brown, Physical review B, 48(24), pp. 17954-17959, 1993
- [6] S. Xu, B.K. Tay, H.S. Tan, L. Zhong, Y.Q. Tu, S.R.P. Silva, and W.I. Milne, J. Appl. Phys., 79(9), pp. 7234-7240, 1996
- [7] C.A. Spindt, I. Brodie, L. Humphrey, and E.R. Westerberg, J. Appl. Phys., 47(12), pp. 5248-5263, 1976