

이온빔 스퍼터링으로 제작된 다이아몬드성 카본 필름의 전계 방출 특성

안상혁* · 이광렬¹ · 전동렬*

¹한국과학기술연구원, 박막기술연구센터
*명지대학교 물리학과
(1998년 8월 31일 접수)

Field emission properties of diamond-like carbon films deposited by ion beam sputtering

Sang-Hyuck Ahn¹*, Kwang-Ryeol Lee¹ and Dong-Ryul Jeon*

¹Thin Film Technology Research Center, Korea Institute of Science and Technology,
P. O. Box 131, Cheongryang, Seoul, 130-650, Korea

*Department of Physics, Myong Ji University, Yongin, Kyunggi-Do, 449-728, Korea
(Received August 31, 1998)

요 약 - 이온빔 스퍼터링 방법으로 *n*-type Si 기판에 코팅된, 수소를 함유하지 않은 다이아몬드성 카본 필름의 전계 방출 특성을 조사하였다. 필름의 구조나 두께에 관계없이 전계 방출 전류는 양극과 시편의 표면사이에서 발생하는 electrical breakdown에 의해 현저히 증가하였으며, 이때의 effective work function은 약 0.1 eV의 작은 값을 가지고 있었다. 텅스텐 tip을 이용하여 breakdown에 의해 발생한 시편표면의 손상부위 근처를 scanning 하면서 전계 방출 전류를 측정하여, 전계 방출이 일어나는 정확한 위치를 확인하였다. 전계 방출은 breakdown에 의해 발생한 표면 손상 부위의 모든 곳에서 균일하게 일어나는 것이 아니라 특정 부위에서 집중적으로 관찰되었다. Auger electron spectroscopy와 SEM을 이용한 분석을 통해 손상 부위 중 Si와 C의 화합물이 형성된 곳에서만 전계 방출이 일어난다고 있음을 알 수 있었으며, 손상부위의 형상변화는 전계 방출의 충분조건이 아니었다. 본 연구의 결과는 breakdown에 의한 전계 방출 전류의 증가는 시편 표면의 형상 변화에 의한 전계증진의 효과보다는 표면에서 발생하는 화학적 결합의 변화에 기인하고 있음을 보여준다.

Abstract - Field emission behaviors from diamond-like carbon films were investigated. The films were deposited on *n*-type Si wafer by ion beam sputtering method using 3 cm Kaufman type ion source. Regardless of the film thicknesses and atomic bond structure, the emission current was much enhanced by electrical breakdown between anode and the film surface. The effective work function was estimated to be about 0.1 eV. In order to identify the emission site, tungsten tip was scanned the damaged region of the surface measuring the emission current. Emission current was not observed from the whole damaged region but localized to a specific site. Analysis using Auger electron spectroscopy and SEM shows that SiC compound was formed in the emission region and the morphological change in the damaged region was not a sufficient condition for the electron emission. This result showed that the enhanced emission was mainly due to the changes in the chemical bond of the damaged region rather than the enhanced electric field caused by the morphological change.

1. 서 론

전계방출은 높은 전기장의 인가에 의해 재료의 표면에서 전자가 방출되는 현상으로서, 평판 표시소자나 진공 전자소자 등에서의 활용을 위해 많은 연구가 진행되고

있다. 전계방출의 음극 재료로는 대부분 Mo나 Si 등을 사용하지만, 이들 재료는 높은 전자 친화도 (electron affinity)를 가지고 있기 때문에 전계방출을 일으킬 수 있는 충분한 전기장의 형성을 위해 날카로운 tip의 형태로 사용되고 있다[1]. 그러나, 이러한 음극 tip을 사용하는

경우에는 잔류가스에 의한 back sputtering이나 화학적 반응에 의해 전자 방출 성능이 점차 저하되는 등 음극의 안정성에 많은 문제가 있는 것으로 알려져 있다[2]. 이러한 문제들을 해결하기 위해 다이아몬드나 다이아몬드성 카본 (diamond-like carbon : DLC)을 음극 재료로 사용하려는 노력이 진행되어 왔다. 카본계 음극 물질들은 음의 전자 친화도를 가지고 있어 낮은 전기장에 의해서도 쉽게 전계 방출이 일어나는 것으로 알려져 있다[3-4]. 따라서, Mo나 Si 처럼 tip의 형태로 제작할 필요가 없으므로 제작 공정을 단순화할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기계적 특성이 우수하여 back sputtering에 의한 손상을 줄일 수 있고, 화학적 안정성, 높은 열전도도 등 우수한 물리화학적 특성으로 인해 음극의 안정성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

최근, 다이아몬드나 다이아몬드성 카본 필름 등 카본계 물질의 전계 방출 특성에 관해 많은 연구가 보고되고 있다. 다이아몬드성 카본 필름의 경우 질소를 함유한 필름이나 수소의 함량이 적은 필름이 우수한 전계 방출 특성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다[5]. 카본계 물질의 전계 방출특성은 기관의 특성에도 민감한 것으로 보고되고 있는데, Lee 등은 도핑된 Si 기관과 Au가 증착된 Si 기관 위에 각각 다이아몬드를 증착하고 전계 방출 특성을 비교한 결과, Au가 증착된 경우에 전계 방출특성이 더 우수하다는 실험적 결과를 발표한 바 있다[6]. 그러나, 카본계 물질의 전계 방출 기구에 대해서는 아직 명확히 밝혀져 있지 않다. 음의 전자 친화도 외에도 결정질 다이아몬드의 입계 [7], 표면 결합이나 도핑에 의한 밴드갭 내의 에너지 준위[8], 그리고 다이아몬드내의 sp^2 결합 영역[9] 등이 우수한 전계 방출의 원인인 것으로 제안되었다. 카본계 물질에서 관찰되는 전계 방출 현상의 특징 중 하나는 양극과 음극 물질 사이의 전기장에 의해 발생하는 breakdown이 전계 방출 전류를 현저히 증가시킨다는 점이다. 이 현상의 원인 역시 명확히 밝혀져 있지 않지만, breakdown에 의해 형성되는 표면 손상 영역의 수가 늘어갈수록 그리고 손상영역의 크기가 증가할수록 전계 방출의 입계 전압이 감소함을 관찰함으로써, breakdown에 의해 형성된 손상영역이 전계 방출의 위치임을 간접적으로 보여준 바 있다[10, 11]. 한편, Lee 등은 전계 방출이 일어나는 손상영역 물질의 조성과 구조를 조사한 결과, 결합이 많은 SiC 화합물이 형성되어 있음을 확인하고, 전계 방출의 증진은 손상영역의 기하학적 변화와 SiC 화합물의 형성과 밀접한 관계가 있

음을 제안한 바 있다[11].

본 연구에서는 이온빔 스퍼터링으로 제작된 다이아몬드성 카본 필름에서 breakdown에 의한 표면손상과 전계 방출 거동과의 관계를 조사하였다. 양극으로 텅스텐 바늘을 이용하여 손상부위 근처를 scanning 하면서 전계 방출이 일어나는 정확한 위치를 확인하였으며, 전계 방출이 일어나는 위치에서 표면 형상과 화학적 결합 구조의 변화를 조사하였다. 본 연구를 통해 우리는 breakdown에 의한 전계 방출의 증진은 시편 표면 형상의 변화로 인한 전기장 증진의 효과와 손상부위에 형성되는 SiC_x 상의 형성 효과가 복합적으로 작용한 결과임을 보일 수 있었다.

2. 실험 방법

다이아몬드성 카본 필름은 3 cm Kaufman type 이온건을 이용하는 이온빔 스퍼터링 방법으로 합성하였다. 본 연구에 사용된 합성장비에는 스퍼터링을 위한 스퍼터 건과 표면의 세척이나 보조 이온의 공급을 위한 보조 이온건이 설치되어 있다. 스퍼터 타겟으로는 99.999%의 고순도 흑연을 사용하였으며, 기관으로는 n-type Si 웨이퍼를 사용하였다. 합성챔버의 초기압력은 5×10^{-7} Torr였으며, 합성 전에 기관은 400eV, 15mA의 알곤 이온빔으로 1분간 세척하였다. 박막 합성 시에는 스퍼터 건의 Ar 이온빔 전류를 30mA로 고정시키고 빔 에너지를 750, 1000, 1250eV로 바꾸면서 흑연 타겟을 스퍼터링 하였다. 필름의 두께는 스퍼터링 시간을 조절하여 300 Å에서 1350 Å까지 변화시켰다. 합성된 필름의 구조 및 조성은 Auger Electron Spectroscopy, RBS 및 Raman Spectroscopy를 이용하여 조사하였으며, 전기적 특성은 4 point 비저항 측정기를 이용하여 측정하였다.

시편의 전계 방출 특성은 10^{-7} Torr대의 진공 중에서 측정하였다. 그림 1(a)는 전압-전류 특성을 측정하기 위해 사용된 장비의 모식도이다. 양극으로는 텅스텐 바늘을 사용하였으며, 기관은 3차원 위치 조정기를 이용하여 측정부위를 조정할 수 있도록 하였다. 그림 1(b)는 양극으로 사용된 텅스텐 바늘의 주사 전자현미경 사진이다. 텅스텐 바늘은 텅스텐 와이어를 KOH 수용액에서 전기분해 하여 제작하였다[12]. 본 실험에 사용된 3차원 위치조정기의 XY 방향의 위치 정밀도는 2.5 μm였으며 Z 방향의 위치정밀도는 1 μm였다. 전계 방출 전류는 시편과 접지사이에 설치된 998Ω의 저항양단의 전압차를

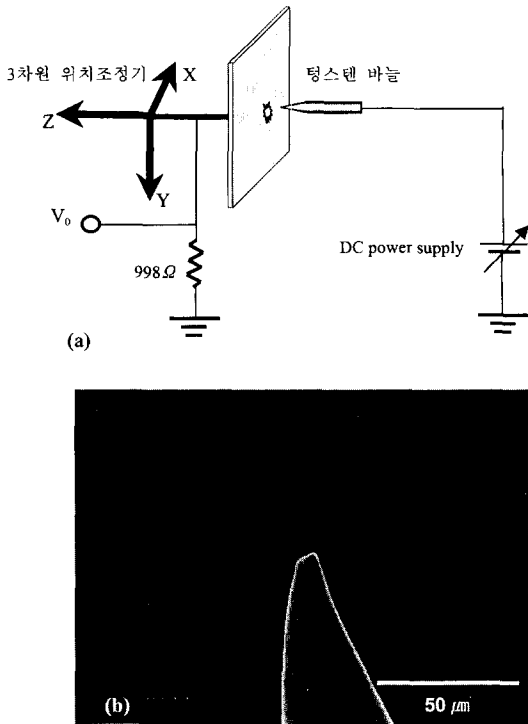


Fig. 1. (a) 전류-전압 측정 장비의 모식도, (b) 양극으로 사용된 텅스텐 바늘의 주사전자현미경 사진.

읽어 측정하였다. 양극과 음극사이의 거리는 30 μm였으며 DC 전압을 2500V 까지 증가시키면서 전류의 변화를 측정하였다. Breakdown이 일어난 후에는 전압을 250V로 일정하게 고정시킨 채 3차원 위치조정기를 이용하여 위치에 따른 전계 방출 거동을 측정하였으며, 이때 위치조정기는 12.5 μm씩 이동하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2(a)는 Si 위에 이온빔 스퍼터링으로 코팅된 다이아몬드성 탄소필름의 전형적인 RBS 스펙트럼이다. 필름에는 0.5 at.% 미만의 텅스텐과 철이 함유되어 있는데, 이는 Kaufman type ion source에서 나온 이온이 neutralizer로 사용되는 W wire와 neutralizer 고정나사를 스퍼터링 하면서 발생한 오염으로 생각된다. 또한, 스퍼터 가스로 사용된 Ar도 약 5 at.% 정도 필름에 함유되어 있었다. 그림 2(b)는 스퍼터 이온의 에너지 증가에 따른 라만 스펙트럼의 변화를 보여주고 있다. 모든 스펙트럼은 1350 cm⁻¹ 근처의 D-peak과 1580 cm⁻¹ 근처의 G-

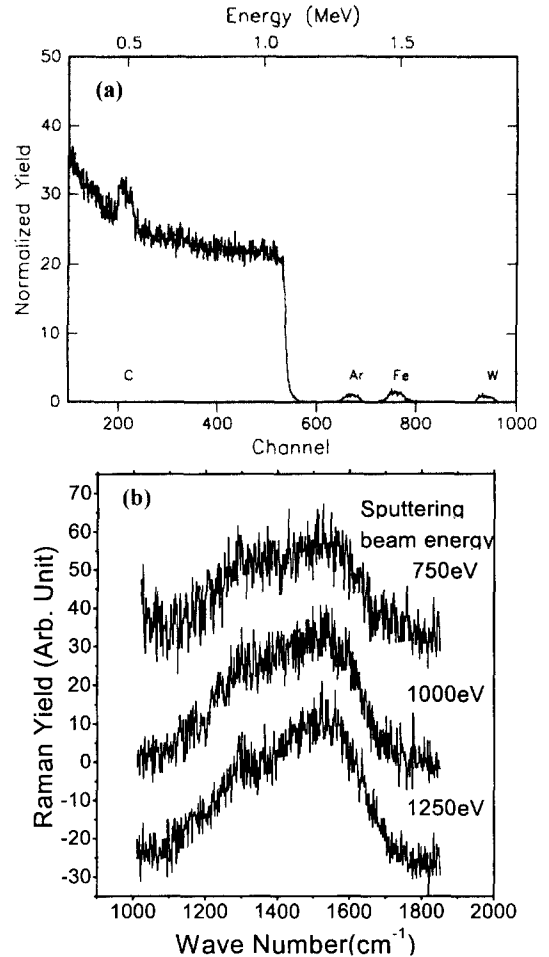


Fig. 2. (a) 합성된 필름의 RBS 스펙트럼(스퍼터링 이온빔 에너지 : 1000 eV), (b) 스퍼터링 이온 빔의 에너지 변화에 따른 라만 스펙트럼의 변화.

peak이 중첩되어 있는 형태를 가지고 있다[13]. 그림에서 보는 바와 같이 스퍼터링 이온빔의 에너지가 작은 경우에는 D-peak이 잘 발달된 흑연의 특성을 보여주고 있으나, 이온빔의 에너지가 증가함에 따라 G-peak에 대한 D-peak의 상대적인 크기가 감소하고 있다. 그러나, G-peak의 위치는 스퍼터 이온의 에너지에 따라 크게 달라지지 않았다. 이러한 스펙트럼상의 변화는 스퍼터 이온의 에너지가 증가함에 따라 필름은 더욱 불규칙한 구조를 가지고 있음을 보여준다. 그러나, 스퍼터링된 탄소의 에너지는 10 eV 미만이므로[14], 매우 치밀하고 sp³ 함량이 높은 필름이 합성되지는 않은 것으로 판단된다. 이는 스퍼터링시에 보조이온의 충돌이 없으면 합성된 필

름이 흑연의 특성을 많이 갖는다는 기존의 연구 결과와 일치하고 있다[15]. 필름의 비저항은 $10^{-3}\Omega\text{cm}$ 정도로 도체에 가까우며, 이는 전형적인 수소함유 다이아몬드성 카본 필름에 비해서 10^{10} order 정도 큰 값이다[15]. 이렇게 낮은 비저항은 합성된 필름이 흑연의 특성을 많이 가지고 있으며, W, Fe 등 금속들을 불순물로 함유하고 있기 때문으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서 사용된 필름에서는 전계 방출시 요구되는 필름을 통한 전자의 공급이 수소함유 다이아몬드성 카본 필름에 비해 훨씬 양호할 것으로 판단된다.

평판의 Si에 코팅된 다이아몬드성 카본 필름은 스퍼터링 이온의 에너지나 필름의 두께에 관계없이 breakdown이 없이는 전계 방출 현상을 전혀 관찰할 수 없었다. 그러나, breakdown이 일어난 뒤에는 전류의 양이 급격히 증가하였으며, 이후 인가 전압을 줄여 다시 전계 방출 거동을 측정할 결과, 전계 방출이 일어나는 임계전압이 크게 감소하였음을 확인할 수 있었다. Breakdown이 일어난 뒤에는 측정횟수에 관계없이 동일한 전계 방출 거동이 관찰되었지만, 재측정시 발생하는 또 다른 breakdown에 의해 전계방출 전류는 더욱 증진되었다. 이러한 현상은 PACVD에 의해 합성된 다이아몬드성 카본 필름의 전계방출 특성과 일치하는 경향으로서, 반복되는 breakdown에 의한 표면 손상 부위의 증가에 기인하는 것으로 생각된다[11]. 그림 3은 breakdown이 일어난 후 관찰되는 전계방출 거동의 Fowler-Nordheim plot들로서, 직선적인 관계로부터 전형적인 전계 방출 현상임을 확인할 수 있다. Fowler-Nordheim plot의 기울기로부터 계산된 breakdown 이후의 effective work function은 0.109에서 0.126 eV 구간의 매

우 작은 값을 가지고 있었다.

본 연구의 실험조건에서는 필름의 두께가 증가할수록 breakdown이후의 전계 방출 전류는 증가하는 경향을 보이고 있으나, 스퍼터 이온의 에너지나 필름의 두께에 따른 뚜렷한 effective work function의 차이는 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 breakdown 후의 전계 방출 거동이 필름의 특성에 의존하는 것이 아니라 breakdown에 의해 손상을 입은 양극 (텅스텐 tip) 이나 시편표면의 변화에 크게 의존하고 있음을 의미한다. 전계 방출에 미치는 양극 손상의 영향을 조사하기 위해, breakdown이 일어난 후 시편의 위치를 변화시켜 손상을 입지 않은 곳에서 전계 방출 거동을 다시 측정하였다. 그러나, 이 경우에도 새로운 위치에서 breakdown이 일어나기 전에는 전계 방출 현상을 관찰할 수 없었다. 따라서, breakdown에 의한 전계 방출의 증진은 breakdown에 의해 일어난 시편표면의 변화에 기인한다고 할 수 있다.

그림 4(a)는 breakdown이 일어난 시편 손상부위의 주사 전자 현미경 사진이며, 그림 4(b)는 손상부위의 형상

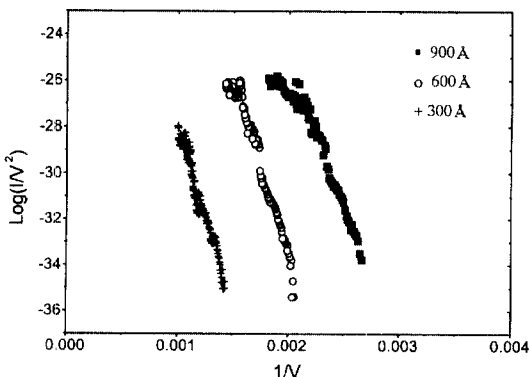


Fig. 3. Breakdown이 일어난 후 관찰된 전계방출의 Fowler-Nordheim plot.

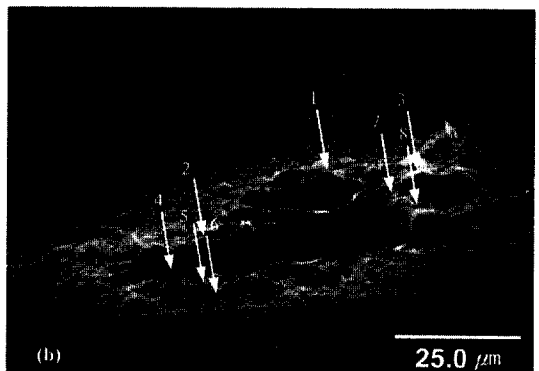
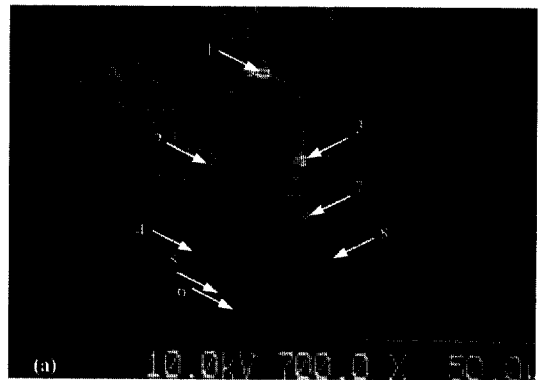


Fig. 4. Breakdown에 의해 발생한 표면손상의 주사전자현미경 사진 (a) Tilt Angle : 0°, (b) Tilt Angle : 80°.

변화를 관찰하기 위해 시편을 80도로 기울여 촬영한 사진이다. 손상부위에는 arcing에 의해 급속한 용해와 응고 반응이 일어난 흔적이 잘 나타나 있다. 손상부위의 중앙은 분화구 형상으로 파여 있으며, 그 주위에 매우 다양한 모양을 가진 돌출부가 형성되어 있다. 이러한 돌출부위 선단에서는 전계 방출전류 측정시 전기장의 증가가 발생할 것으로 예상된다. 전계 방출의 정확한 위치를 확인하기 위해, 그림 4의 손상부위 근처를 scanning 하면서 전계 방출 전류를 측정하였다. 이때, 손상을 입지 않은 시편 표면과 양극사이의 거리는 30 μm 를 유지하였다. 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 손상부위에 발생한 돌출 부위의 높이는 수 μm 정도이므로 측정 위치에 따른 양극과의 거리 변화는 약 10%였다. 이러한 양극과의 거리 변화 효과에 대해서는 전계 방출 전류 분포를 논의하면서 다룰 것이다.

그림 5(a)는 텅스텐 바늘을 이용하여 시편의 손상부위 근처를 scanning하면서 전계 방출 전류를 측정하여 얻은 전계 방출 전류의 분포 graph이며, 그림 5(b)는 측정 부위의 주사 전자현미경 사진과 전계 방출 전류 분포를

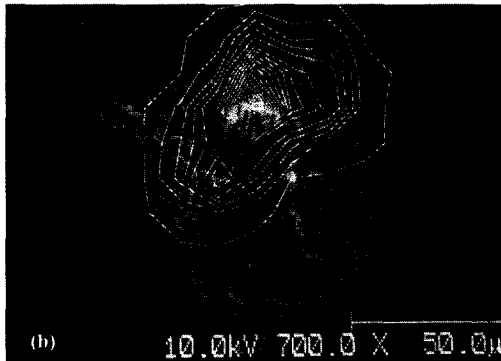
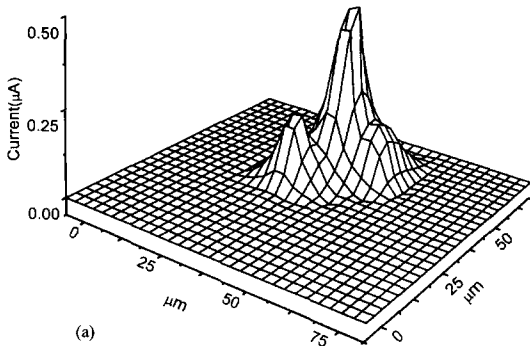


Fig. 5. (a) 텅스텐 Tip을 이용하여 측정된 전계 방출 전류 분포의 3차원 도표, (b) 측정부위의 주사전자현미경 사진과 중첩된 전계방출 전류분포의 등고선 도표.

중첩시킨 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전계방출 전류가 모든 손상부위에서 균일한 분포를 가지고 있지 않고, 손상부위의 특정한 위치에서 매우 높은 전계 방출 전류가 관찰되었다. Breakdown에 의한 손상부위의 형상 변화의 관점에서 보면 그림 4의 화살표들로 표시된 모든 위치가 다른 부분에 비해 돌출하여 있어 전기장의 증가가 예상되지만, 위치 1과 2에서만 전계방출이 일어나고 있을 뿐, 다른 위치에서는 전계방출이 전혀 일어나지 않았다. 이 결과는 전기장 증진을 일으키는 손상부위의 기하학적 변화의 관점만으로는 본 실험결과를 잘 설명할 수 없음을 보여주고 있다. 또한, 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 전계 방출 전류는 양극과의 거리 변화와도 일치하지 않음을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5(b)의 손상부위에 대한 C와 Si의

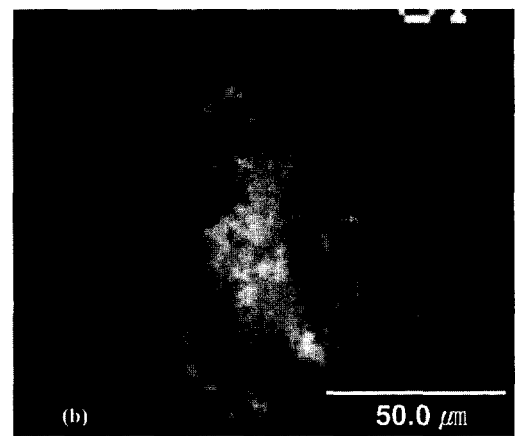
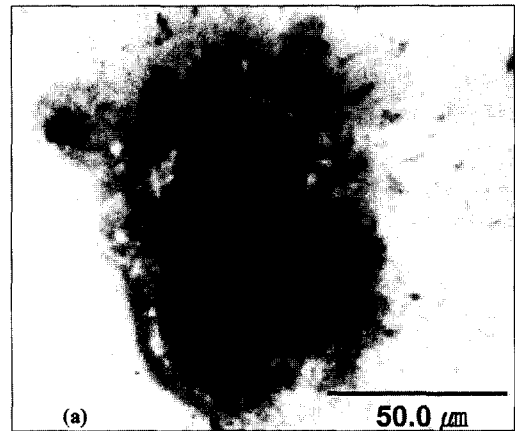


Fig. 6. *n*-type Si 기판 위에 DLC가 breakdown에 의해 손상된 위치에 대한 오제 전자분광기에 의한 (a) 카본사진, (b) 실리콘 사진.

Table 1. 그림 4의 위치에 따른 C과 Si 조성비

Position in Fig. 4	C (%)	Si (%)	C/Si ratio
1	86.7	13.3	6.54
2	37.6	62.4	0.60
3	12.7	87.4	0.14
4	25.0	75.0	0.33
5	13.8	6.3	0.15
6	15.8	84.2	0.18
7	8.6	91.4	0.09
8	12.5	87.5	0.14

Auger 조성 map으로서 밝혀 나타난 부위가 조성이 높은 부위이다. Breakdown에 의해 발생한 crater의 중앙부 위에서는 전혀 C이 없이 Si만 관찰되며 이곳에서는 전계 방출이 관찰되지 않았다. 또한, crater 외부에서는 C만이 관찰되며 역시 전계 방출이 관찰되지 않았다. 한편, 전계 방출이 관찰되는 crater의 주변은 Si과 C이 섞여있음을 볼 수 있다. 그림 4의 화살표로 표시된 각 위치에서 Auger spectroscopy를 이용하여 측정한 Si과 C의 조성비를 표 1에 정리하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 전계 방출이 잘 일어나는 위치 2에서는 Si과 C이 비슷한 비율로 존재하고 있음을 알 수 있으며, 전계 방출량이 훨씬 적은 위치 1에서는 C의 함량이 매우 높다. 한편, 전계 방출이 전혀 관찰되지 않는 다른 위치에서는 매우 적은 양의 C이 존재하고 있었다.

그림 7은 그림 4의 위치 1, 2, 3에서의 C와 Si의

Auger fine structure 들이다. 그림 7(a)에서 보는 바와 같이 1 위치의 C은 다이아몬드성 카본 필름의 전형적인 auger 스펙트럼을 보여주고 있으나, 위치 2에서는 C이 SiC의 형태의 결합을 하고 있음을 알 수 있다[16]. 그림 7(b)의 Si fine structure 에서도 2 위치의 Si은 SiC의 결합 형태를 하고 있음을 확인할 수 있다[17]. 한편, 위치 3에서는 C의 양이 현저히 줄어들기 때문에 화학적 결합 형태를 파악할 수는 없다. 그러나, 그림 7(b)에서 알 수 있듯이, 위치 3의 Si은 C과의 화합물을 형성하지 않고 순수한 Si의 형태로 존재하고 있었다[16]. 이상의 결과들은 breakdown에 의해 손상부위에 형성되는 SiC 화합물이 전계방출의 증진과 밀접한 관계를 가지고 있음을 잘 보여주고 있다.

4. 결 론

이온빔 스퍼터링 방법으로 합성된 수소를 함유하지 않은 다이아몬드성 카본 필름의 전계 방출 전류는 전류-전압 특성의 측정시 발생하는 전기적 breakdown에 의해 현저히 증가하였다. 이러한 거동은 플라즈마 CVD에 의해 합성된 수소 함유 다이아몬드상 카본 필름과 동일한 것이다[11]. 따라서, 다이아몬드상 카본 필름에서 관찰되는 전계 방출거동은 필름내의 수소함량에 따라 민감하게 변하지 않는 것으로 판단된다. Breakdown 이후에 관찰되는 전계 방출은 필름의 특성이나 두께와는 무관

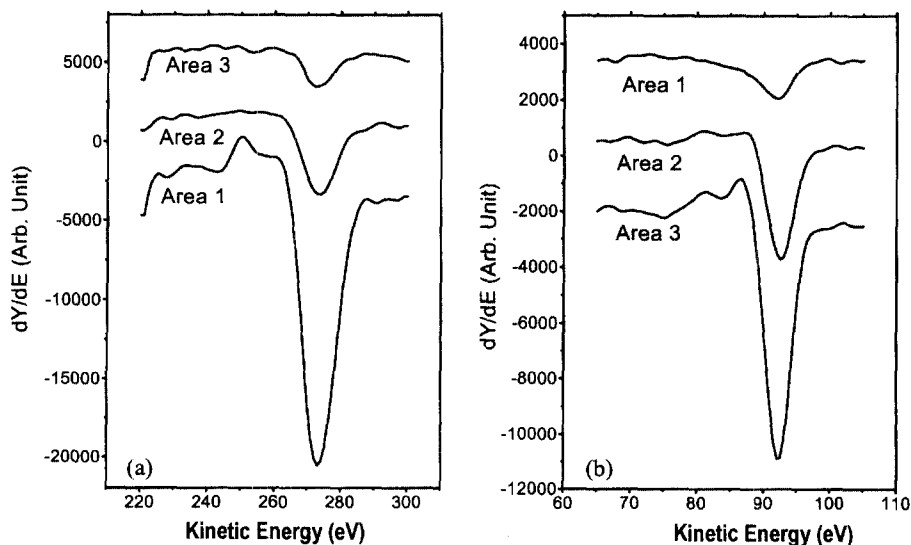


Fig. 7. 카본(a)과 실리콘(b)에 대한 1,2,3 위치의 오제 파인 스트럭처.

한 거동을 보였으며, 0.1 eV 정도의 낮은 work function 을 가지고 있었다. 텅스텐 tip을 이용하여 시편 표면의 emission map을 측정한 결과, 전계 방출은 breakdown에 의해 발생한 시편 표면의 손상 부위에서 일어났음을 확인할 수 있었다. 그러나, 손상부위에 존재하는 돌출부의 모든 곳에서 전계 방출이 일어나지는 않았으며, 전계 방출이 활발히 일어나는 위치에서는 Si과 C이 SiC_x 화합물 형태의 결합을 하고 있었다. 따라서, breakdown에 의한 전계 방출의 증진은 시편 표면 형상의 변화로 인한 전기장 증진의 효과와 손상부위에 형성되는 SiC_x 상의 존재가 복합적으로 작용한 결과라고 할 수 있다.

참고문헌

1. C. A. Spindt, *J. Appl. Phys.* **39**, 3504 (1968).
2. V. I. Makhov, *2nd Int'l Conf. on Vacuum Microelectronics, Vath, U. K., IOP conf. Series* **99**, (1989) p. 235.
3. V. V. Zhirnov and E. I. Givargizov, *J. Vac. Sci. Technol.* **B12**, 633 (1994).
4. F. J. Himpsel, J. S. Knapp, J. A. VanVecten and K. E. Eastman, *Phys. Rev.* **B20**, 624 (1979).
5. K. C. Park, J. H. Moon, S. J. Chung, M. H. Oh, W. I. Milne and J. Jang, *J. Vac. Sci. Technol.* **B15**(2), 428 (1997).
6. J. S. Lee, K. S. Liu and I. N. Lin, *J. Appl. Phys.* **82**(7), 3310 (1997).
7. D. Hong, M. Aslam, M. Feldman and M. Olinger, *J. Vac. Sci. Technol.* **B12**, 764 (1994).
8. Z. H. Huang, P. H. Cutler, N. M. Miskovsky and T. E. Sullivan, *Appl. Phys. Lett.* **65**, 2562 (1994).
9. N. S. Xu, Y. Tzeng and R. V. Lattam, *J. Phys.* **D26**, 1776 (1993).
10. A. A. Talin, T. E. Felter, T. A. Friedmann, J. P. Sullivan, and M. P. Siegal, *J. Vac. Sci. Technol.* **A14**, 1719 (1996).
11. K. R. Lee, K. Y. Eun, Sunup Lee, and D. Jeon, *Thin Solid Films* **290**, 171 (1996).
12. C. J. Chen, *Introduction to Scanning Tunneling Microscopy* (Oxford University Press, New York, 1993) p. 282.
13. M. Yoshikawa, *Mater. Sci. Forum*, **52/53**, 365 (1989).
14. C. Weissmantel, H. J. Erler and G. Reisse, *Surf. Sci.*, **86**, 207 (1979).
15. 이광렬, 은광용, *대한금속학회 회보*, **6**(4), 345 (1993).
16. D. Briggs, and J. C. Riviere, in D. Briggs and M. P. Seah (eds.), *Practical Surface Analysis by Auger and X-ray Photoelectron Spectroscopy* (Wiley, Chichester, 1983) p. 104.
17. M. Ghamina, C. Jardin, D. Kadri, and M. Bouslama, *Vacuum* **47**(2), 144 (1996).