다이아몬드상 카본박막의 펄스레이저 증착법 연구

論 文
48C - 6 - 1

A Study on the Pulsed Laser Deposition of Diamond like Carbon Thin Films

沈 坰 哲* · 李 相 烈**
(Kyung-Suk Shim · Sang Yeol Lee)

Abstract - We fabricated diamond like carbon (DLC) thin films using pulsed laser deposition (PLD) method. Among many deposition parameters, the effects of the deposition temperature and the laser energy density were investigated. Structural properties of the films were studied by Raman spectroscopy. The surface morphologies and cross-section imagies of the films were investigated by atomic force microscopy (AFM) and scanning electron microscopy (SEM) respectively. DLC thin films fabricated at 12 J/cm^2 of a laser energy density and 300℃ of a deposition temperature showed the best quality.

Key Words : Diamond like carbon(DLC), pulsed laser deposition(PLD), Raman spectroscopy

1. 서 론

다이아몬드는 탁월한 역학적 · 광학적 · 열적 · 전기적 특성들로 인하여 여러 분야에서 응용가능성이 높은 소재로 활발한 연구가 진행되어왔다. 특히 다이아몬드는 음의 전자친화도(Negative Electron Affinity)를 가지는 고유한 특성으로 인하여 전자공학분야의 디스플레이용 전계방출소자로 연구개발하고자 주로 chemical vapor deposition (CVD) 방법으로 박막화하는 연구가 활발히 진행되어왔다.[1,2] 그러나 CVD 방법으로 성장된 다이아몬드 박막은 수소함량이 20~60% 정도의 다결정형으로 높은 온도에서 주로 증착되어진다.[3,4] 따라서 열적으로 민감한 기판들이나 촉매로 사용되는 수소원자에 의해 식각되는 기판들 위에는 박막의 증착이 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 순수한 결정질 다이아몬드에 비해 비교적 증착이 용이한 비정질의 다이아몬드상(Diamond-like Carbon, 이하 DLC) 카본 박막을 제작하고자 하는 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. 순수한 다이아몬드가 입방정의 결정을 가지며 sp^3결합을 이루고 있는데 반하여 DLC는 비정질로서 sp^2와 sp^3의 혼합구조를 이루고 있다. 하지만 그 특성들은 흑연보다는 순수한 다이아몬드와 유사하여 많은 연구자들의 관심을 끌어왔다.[5] 다이아몬드 박막에 비해 DLC 박막은 여러 가지 면에서 장점을 가지고 있는데, 크게 세가지로 생각해 볼 수 있다.[6] 첫 번째로 DLC 박막은 다이아몬드 박막과 달리 낮은 온도에서 증착이 가능하기 때문에 그 응용을 위한 기판의 제한이 거의 없다. 두 번째로 DLC 박막은 비정질 준안정상이므로 물리화학적 특성이 넓은 범위에 걸쳐있다. 즉, 증착조건을 달리함에 따라 그 특성을 약간씩 변화시킬 수 있어 다양한 용도로 응용이 가능하다. 마지막으로 최근 연구되고 있는 막상 다이아몬드의 경우에는 박막의 표면이 합성조건에 따라 수 μm 정도의 거칠기를 가지고 있어 합성후 연마 등의 공정이 추가로 필요하지만, DLC 박막은 수백 Å미만의 평활도를 가지고 있어서 광학 및 내마모 윤활코팅으로의 적용이 가능하다. 이러한 여러 가지 장점을 가지는 DLC 박막을 제조하기 위한 연구는 다양한 증착 방법으로 수행되어져왔다. DLC 박막은 1971년 Aisenberg와 Chabot이 Ion-beam을 사용하여 증착에 성공한 이후[7] 여러 가지 증착 방식으로 시도되었으며 현재는 크게 CVD 방법으로 증착하는 경우와 펄스 레이저 증착법으로 제작되는 두 가지 방법이 주류를 이루고 있다. 그런데 CVD로 박막을 증착하는 경우 precursor 물질로 인하여 고진공 상태에서 증착을 하기가 힘들며, 따라서 순수한 탄소이외의 다른 물질들도 섞여있는 박막을 제작하게 되는 경우가 일반적이다.[8-10] 이에 반하여 펄스 레이저 증착법으로 박막을 증착하는 경우에는 고진공하에서 증착을 할 수 있기 때문에 순수한 탄소만으로 이루어진 DLC 박막을 제조할 수 있음은 물론이고, 목적에 따라 질소나 수소등을 첨가하여 다른 물질이 섞여있는 박막도 제조할 수 있기 때문에 많은 연구 그룹에서 펄스 레이저 증착법을 사용하여 DLC 박막을 연구하고 있다.[11-14] 따라서 본 연구에서는 그래파이트 상을 가지는 순수한 탄소 타겟을 사용하여 펄스 레이저 증착법으로 수소나 질소 등의 불순물이 섞이지 않은 다이아몬드상 카본 박막을 증착하여, 증착변수에 따른 박막의 특성을 연구하였다.

* 準 會 員 : 延世大 工大 電氣工學科 碩士課程
** 正 會 員 : 延世大 電氣工學科 助敎授 · 工博
接受日字 : 1998年 2月 25日
最終完了 : 1999年 4月 26日

2. 본 론

2.1 실험 방법

실험을 위하여 사용된 시스템의 개략도는 그림1에 나와있다. 실험에 사용된 레이저는 Q-switched Nd:YAG 레이저를

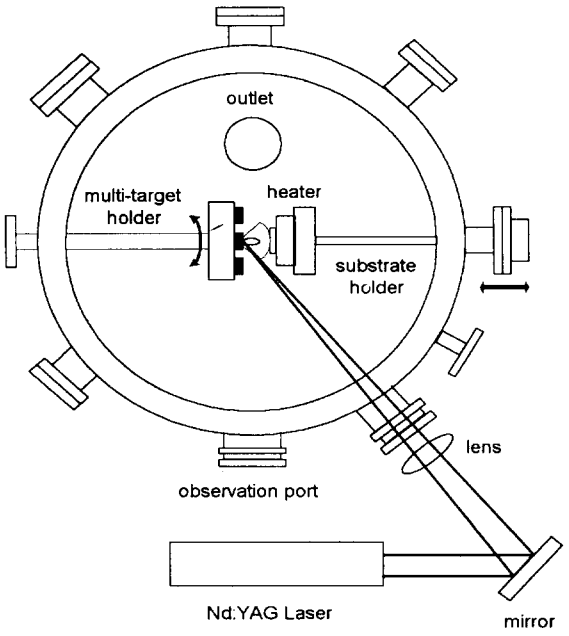


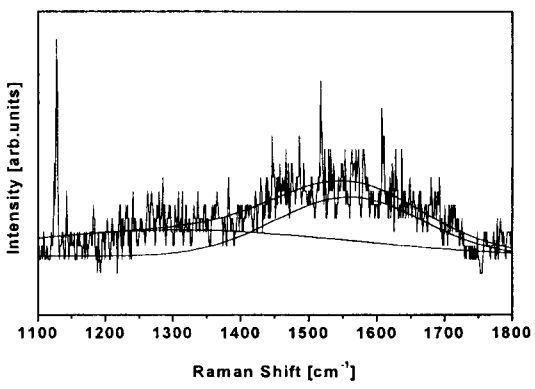
그림 1 펄스 레이저 증착 시스템

Fig. 1 Schematic diagram of pulsed laser deposition system

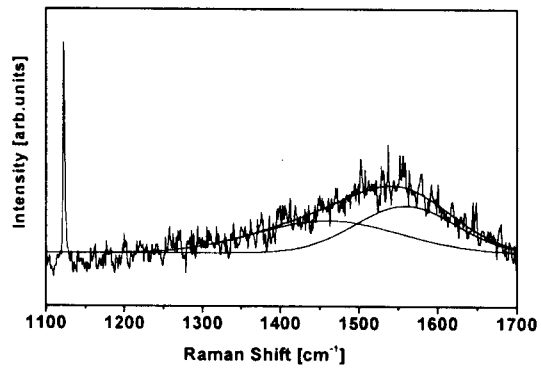
사용하였으며, 레이저 파장과 반복율은 각각 355 nm와 5 Hz를 사용하였다. 타겟은 그래파이트상을 가지는 순수한 탄소를 사용하였다. 기판과 타겟간의 거리는 3 cm로 고정시킨 상태에서 증착을 수행하였으며, 기판은 1 cm × 1 cm 크기의 Si 기판을 사용하였다. 본 연구를 위하여 사용된 챔버에는 터보펌프를 사용하여 진공을 유지하도록 되어 있었다. 본 실험에 사용된 초기진공은 10^{-6} Torr 정도이었으며, 이 상태를 유지시키면서 증착을 수행하였다. 진공에 관한 것을 제외한 나머지 실험에 대한 자세한 사항은 일반적인 펄스 레이저 증착법에 대한 것과 동일하였고, 이것은 우리가 전기학회지에 투고한 다른 문헌에서 알 수 있다.[15] 본 연구에서는 펄스 레이저 증착법을 사용하여 DLC 박막을 제작할 때 가장 영향을 많이 미치는 기판온도와 레이저 에너지 밀도의 영향에 대하여 알아보았다. 우선 레이저 에너지 밀도를 12 J/cm^{2}로 고정시킨후 기판온도를 상온에서 600℃까지 변화시켜가면서 DLC 박막을 증착하였으며, 이를 분석하여 최적의 기판온도를 결정하였다. 그 다음에는 기판온도를 앞에서 결정한 최적으로 유지시킨후 레이저 에너지 밀도를 6 J/cm^2 ~ 14 J/cm^{2}까지 변화시키면서 실험을 진행하였다. 제작되어진 DLC 박막의 물성을 평가하기 위하여 증착된 박막을 다양한 분석기기를 이용하여 분석하였다. 우선 박막의 결합구조는 JASCO사의 라만 분석기(NR-1100 laser Raman spectrometer)를 통하여 분석하였으며, 이때 사용된 레이저원은 100 mW의 파워와 514.5 nm의 파장을 가지는 아르곤 레이저를 사용하였다. 그리고 박막의 표면 형상과 계면의 모습을 관찰하기 위하여 각각 AFM (Atomic Force Microscopy)와 SEM (Scanning Electron Microscopy)을 사용하였으며, XPS (X-ray Photoelectron Spectro -scopy)를 통해 박막내의 화학적 결합상태를 분석하였다. 박막의 광대역폭은 PL (Photoluminescence)을 통하여 분석하였다.

2.2 실험 결과 및 고찰

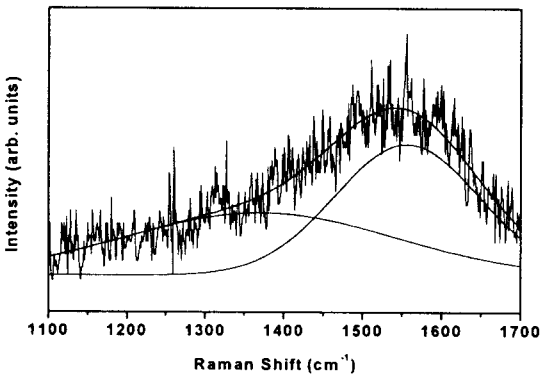
우선 레이저 에너지 밀도를 12 J/cm^{2}로 고정시킨 후 증착온도를 변화시켜가며 증착한 DLC 박막의 구조파악을 위하여 라만 스펙트럼을 분석하였다. 그래파이트 상(phase)을 나타내는 라만 피크의 위치는 1350 cm^{-1}(D-peak), 1580 cm^{-1} (G-peak)에서 존재하며 DLC상을 나타내는 라만 스펙트럼은 1000 cm^{-1}에서 시작하여 1560 cm^{-1}에서 피크가 존재한다.[16] Beeman 그룹은 sp^2 결합과 sp^3 결합의 비와 결합각의 변화에 대한 정보를 라만 데이터로부터 유도하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 시행하였다.[17] 그는 세 개의 결합쌍을 가지는 구조로부터 D 피크를 1310 cm^{-1}, 그리고 G 피크를 1581 cm^{-1}에서 얻었다. 그가 결합각을 120° 에서 117° ± 0.5° 로 바꾸자 G 피크가 1528 cm^{-1}로 이동하는 것을 알 수 있었다. 그리고 Dillon 그룹은 다이아몬드 박막을 후열처리하는 실험을 통하여 결합각의 혼재에 의해 라만 스펙트럼의 G 피크와 D 피크가 이동한다는 것을 밝혀내었다.[18] 그림 2는 상온, 100℃, 300℃, 400℃인 기판온도에서 증착한 DLC 박막의 라만 스펙트럼이다. 그림에서 실선은 라만 스펙트럼을 2개의 Gaussian 함수로 분리시킨 것이다. 증착온도가 상온에서 300℃로 증가함에 따라 G 피크가 점차적으로 아래쪽으로 이동하면서 FWHM이 줄어드는 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 Beeman 그룹이 시뮬레이션을 통하여 밝힌 것과 Dillon 그룹이 실험적으로 밝혀낸 것처럼 sp^3 결합이 점차적으로 늘어감에 따라 결합각의 혼재에 의해 생기는 현상으로 생각되어진다. 펄스 레이저 증착법을 사용하



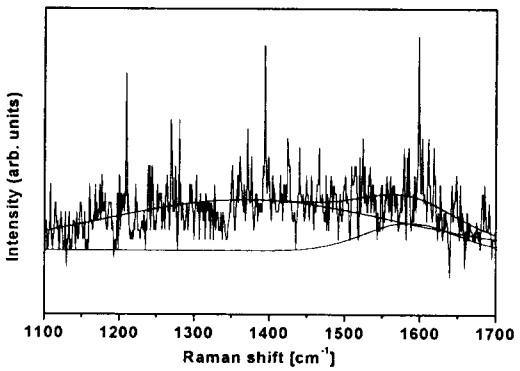
(a) 25℃



(b) 100℃



(c) 300℃

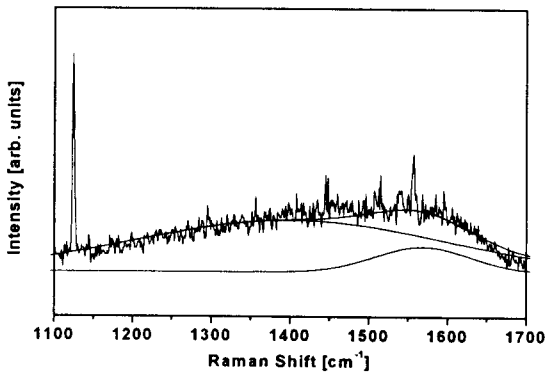


(d) 400℃

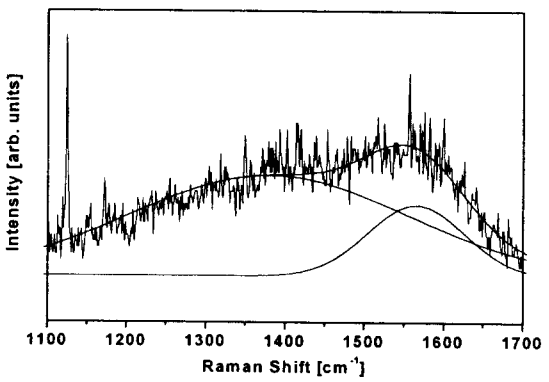
그림 2. 12 J/cm^{2}에서 기판온도에 따라 증착한 DLC 박막의 Raman 스펙트럼

Fig. 2 Raman spectroscopy on DLC thin films at 12 J/cm^2 with varying substrate temperature

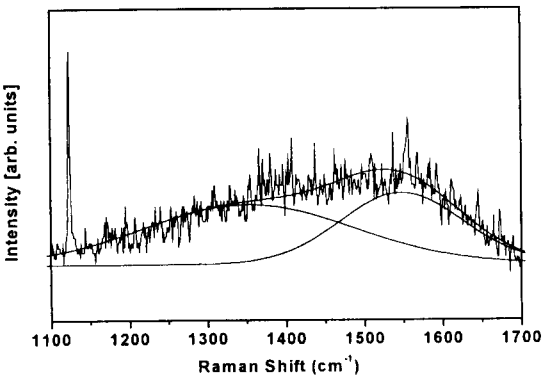
였을 때 sp^3 결합이 많아져서 이렇게 라만 스펙트럼의 G 피크가 아래쪽으로 이동하는 현상은 Chuang 그룹도 관찰한 바 있다.[11] 증착온도가 400℃ 이상으로 매우 높아지게 되면 DLC 상이 깨어져서 뚜렷한 피크가 관찰되지 않으면서 피크의 분리도 제대로 뚜렷하게 되지 않으며, 분리된 피크의 HWFM이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 다이아몬드성 카본 박막이 고온에서 불안정하다는 다른 문헌의 결과를 확인할 수 있는 것이었다.[6] 이러한 결과로부터 기판온도가 DLC 박막의 형성에 민감하게 영향을 미치는 조건임을 확인할 수 있었으며, 300℃의 기판온도가 DLC 박막을 증착하기 위하여 가장 적절한 온도임을 알 수 있었다. 그림 2에서 가장 적절한 증착온도라고 생각되어진 300℃에서 레이저 에너지 밀도를 변화시키면서 증착한 DLC 박막의 라만 스펙트럼을 조사하여 그림 3에 나타내었다. 그림 3 (a) ~ (c)에 나타낸 것과 같이 6 J/cm^{2}에서 10 J/cm^{2}로 레이저 에너지 밀도를 증가시킴에 따라서 G 피크가 점차적으로 아래쪽으로 이동하는 경향을 관찰할 수 있었다. 여기서는 증착온도를 변화시킴에 따라서 변하던 FWHM의 체계적인 변화는 관찰되지 않았다. 그러나 G 피크의 세기가 점차적으로 강해진다는 것을 알 수 있는데, 이러한 변화는 그림 2(c)에 나타낸 12 J/cm^{2}에서 증착된 박막에서 최고조를 이룬다. 그리고 10 J/cm^{2}이하의 레이저 에너지 밀도로 증착된 박막의 라만 스



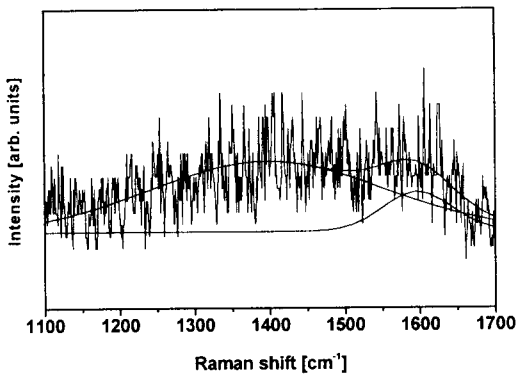
(a) 6 J/cm^2



(b) 8 J/cm^2



(c) 10 J/cm^2

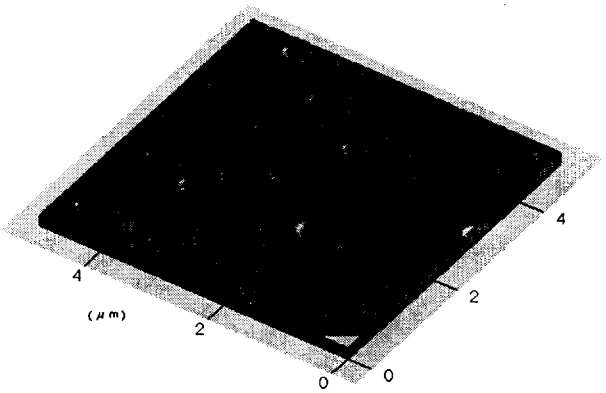


(d) 14 J/cm^2

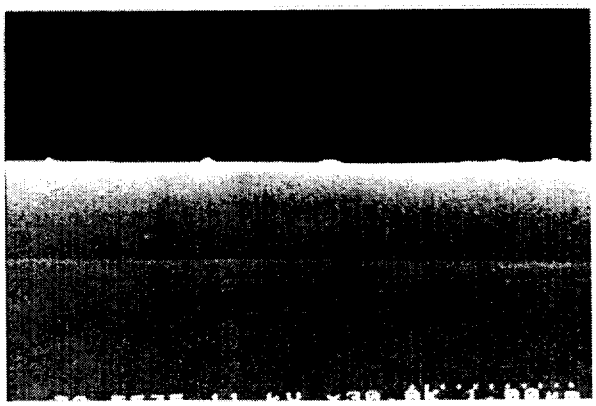
그림 3 300℃에서 레이저 에너지밀도를 변화시키면서 증착한 DLC 박막의 Raman 스펙트럼

Fig. 3 Raman spectroscopy on DLC thin films at 300 ℃ with varying laser energy density

펙트럼에서는 D 피크와 G 피크가 약간 분리되는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 D 피크와 G 피크의 강도가 상대적으로 약해서 발생하는 것으로 박막 내부의 결합이 무질서하게 혼재되어 있기 때문이라고 생각되어진다. 그리고 14 J/cm^2 이상에서 증착된 박막에서는 증착온도가 400℃이상일 때와 비슷한 결과를 얻었다. 이러한 결과는 다이아몬드상 카본 박막을 형성하는 데 있어서 최적의 레이저 에너지 밀도가 존재함을 나타낸다. 펄스 레이저 증착법에서 레이저 에너지 밀도와 기판온도 사이에는 밀접한 관계가 있다. 과거 초전도체인 YBCO를 증착하는 연구를 통하여 많은 연구 그룹들이 낮은 기판온도에서도 플룸 속의 입자들의 에너지를 높여줌으로써 양질의 박막을 얻는다는 연구결과를 발표한 적이 있다.[19] 그리고 본 연구그룹에서도 레이저 에너지 밀도를 증가시켜서 고품질의 유전체 박막을 제작하여 발표한 사례도 있다.[20] 즉 펄스 레이저 증착법에서는 입자들에 박막을 형성하기 위한 에너지를 기판온도와 레이저 에너지 밀도의 두가지 형태로 제공할 수 있는 것이다. 이러한 지식을 토대로 위의 그림 2와 그림 3의 결과를 분석하면 고품질의 DLC 박막을 증착하기 위해서는 적절한 기판온도와 레이저 에너지 밀도가 필요함을 알 수 있다. 즉, 에너지가 임계값 이하이면, 에너지가 부족하여 그래파이트 타겟을 구성하고 있는 탄소원자를 이온화시키지 못해 DLC 상을 형성시키지 못하며, 또한 에너지가 임계값 이상으로 너무 크게 되면 열적 에너지에 불안정한 DLC 박막의 상이 깨어지는 것을 알 수 있다. 최적의 조건이라고 생각되어지는 300℃, 12 J/cm^{2}에서 증착된 DLC 박막의 표면과 단면 모습을 관찰하기 위하여 AFM과 SEM을 사용하였으며, 그 사진들을 그림 4에 나타내었다. 표면을 관찰한 AFM 데이터로부터 계산되어진 평균



(a)



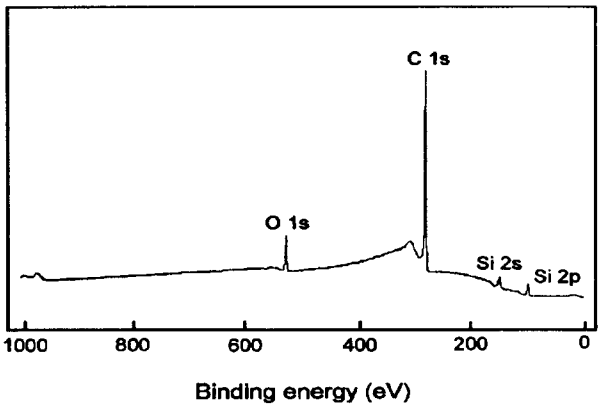
(b)

그림 4. 최적 조건에서 제작된 DLC 박막의 표면 및 단면 모습 ; (a) AFM (b) SEM

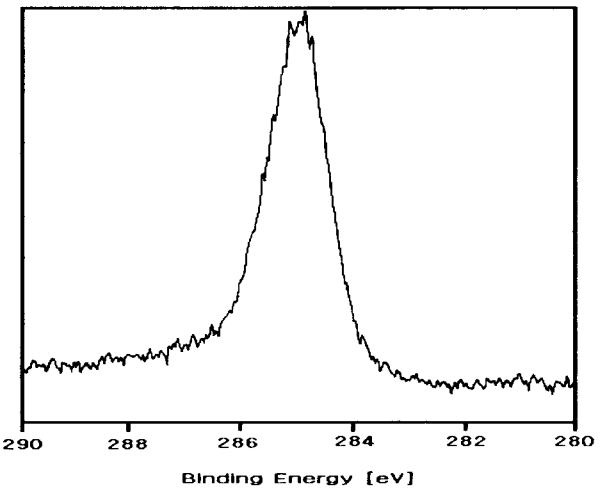
Fig. 4 Surface and cross-section images of DLC thin films ; (a) AFM (b) SEM

표면 거칠기는 0.68 nm로서 표면이 매우 평탄함을 알 수 있었다. 그리고 표면 AFM 사진을 통하여 알 수 있듯이 거칠기도 매우 균일함을 알 수 있었다. 그리고 단면을 관찰한 SEM 사진으로부터 Si 기판과 DLC 박막 사이의 계면도 확실하게 구분할 수 있었다. 이 단면 SEM 사진으로부터 본

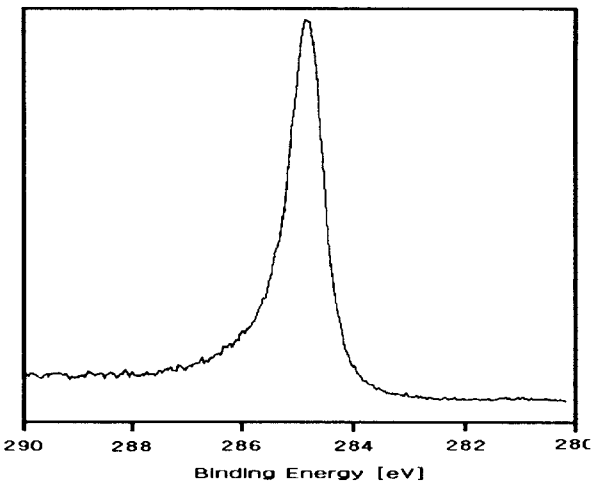
실험조건하에서 형성된 DLC 박막의 두께는 4000 ~ 6000 Å 사이의 값임을 알 수 있었다. DLC 박막의 화학적 결합 상태와 원소간의 조성비를 알아보기 위하여 XPS 분석을 수행하였다. XPS 분석은 wide scan 분석과 narrow scan 분석으로 나누어지는데, wide scan 분석을 통해서는 원소의 종류를 파악할 수 있고, narrow scan 분석을 통해서는 존재하는 각 원소의 조성 및 화학적 결합상태를 알 수 있다. 그림 5 (a)에 나타낸 Wide scan 분석을 살펴보면 기판인 실리콘과 박막인 탄소 성분 이외에도 532 eV에서 O 1s peak가 관찰되어졌다. 본 연구를 위한 DLC 박막은 10^{-6} Torr의 고진공하에서 증착되었으므로, 여기서 나타난 산소 피크는 박막의 내부에 포함되어있는 것으로 보기는 어려우며, 박막이 제작된 후에 측정을 위하여 운반하는 도중 공기중의 산소의 흡착에 의한 표면의 오염에 의한 것이라고 생각되어지며 이러한 현상은 일반적인 XPS에서 흔히 관찰되어질 수 있는 것이다.[21] 그림 5 (a)에 나타난 여러 가지 피크중 DLC 박막에서 가장 중요한 영역인 C 1s 피크를 narrow scan 분석을 실시하였으며, 그 결과를 그림 5 (b)에 나타내었다. 그리고 비교를 위하여 그림 5 (c)에 그래파이트의 C 1s 피크를



(a) DLC 박막의 wide-scan 분석
(a) wide-scan analysis of DLC thin film



(b) DLC 박막의 narrow-scan 분석
(b) narrow-scan analysis of DLC thin film



(c) 그래파이트의 narrow-scan 분석
(c) narrow-scan analysis of graphite

그림 5 XPS 분석
Fig. 5 XPS analysis

나타내었다. 그림 5로부터 그래파이트의 C 1s 피크에 비하여 DLC 박막의 C 1s 피크가 더 넓은 것을 알 수 있는데, 이것은 DLC 박막이 그래파이트 결합에 의한 피크 이외에도 탄소 원자간의 다른 결합에 의한 피크가 중첩되어 생긴 결과라고 생각되어진다.[22] 즉 이 결과는 DLC 박막 내에는 다이아몬드와 그래파이트의 결합구조가 공존하고 있다는 것을 보여주는 것이었다.[23] 300℃의 기판온도와 12 J/cm^{2}의 레이저 에너지 밀도로 증착된 DLC film의 optical gap을 알아보기 위하여 PL 분석을 실시하였다. 분석은 cryostat을 이용하여 8K에서 실시하였고 energy source로는 argon laser(488nm)를 이용하였다. 그림 6에 나타난 분석결과로 부터 알 수 있듯이 6200~6400Å 사이에서 peak가 검출되었고 peak center는 6342Å임으로부터 optical bandgap은 약 1.9 eV 정도임을 알 수 있었다. 이러한 수치는 일반적으로 보고된 DLC 의 band gap과 일치하는 수준이었다.[24]

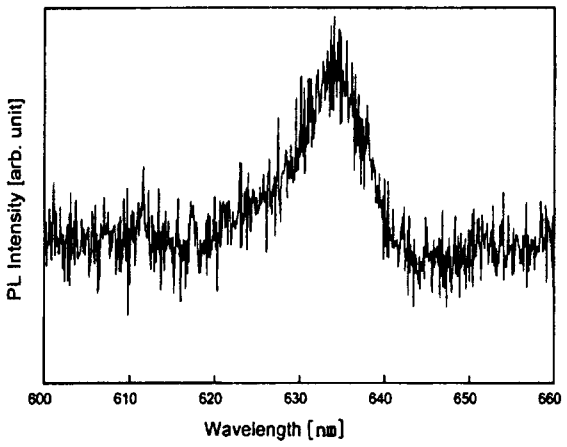


그림 6 DLC 박막에 대한 PL 분석
Fig. 6 PL analysis of DLC thin films

3. 결 론

본 실험에서는 좋은 특성을 가지는 DLC 박막을 얻기 위해 레이저 증착법에 의한 최적 조건을 찾아 보았다. 최적 조건은 먼저 기존에 보고된 문헌을 통해 적절한 레이저 에너지 밀도로 보고된 12 J/cm^2 에서 온도 변화를 살펴 본 후, 다시 적절한 온도를 찾은 후 레이저 에너지 밀도를 변화시키는 방법을 통해서 구했다. 그 결과 기판 온도가 300 ℃, 레이저 에너지 밀도가 12 J/cm^2 환경에서 증착하였을 때 가장 우수한 성질을 갖는 DLC 박막을 제작하였다. 이러한 결과 분석은 라만 데이터 분석을 통해서 살펴 볼 수 있었다. 라만 분석 결과 위의 조건하에서 DLC 박막이 가지는 특성인 1560 cm^{-1} 피크가 관찰되었다. 그리고 이러한 조건을 전후로 하여 점진적으로 그래파이트화가 진행됨이 관찰되었다. 즉, DLC 피크가 점점 사라지고 D 피크와 G 피크가 강하게 나타났다. PL 분석 결과 DLC 의 band gap이 약 1.9 eV 로 측정되었다. 이와 같은 결과로부터 DLC 박막이 증착되는 과정에 있어 플룸 상태로 날아 온 원자나 이온들이 적절한 열 에너지와 레이저 에너지를 갖는 기판 온도 300 ℃ 와 레이저 에너지 밀도 12 J/cm^2 에서 고품질의 DLC 박막이 형성됨을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 학술 진흥 재단의 연구비 지원(과제번호 : 1997-001-E00213)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] A. Wistisora-at, W. P. Kang, J. L. Davidson, and D. V. Kerns, "A study of diamond field emission using micro-patterned monolithic diamond tips with different sp^2 contents", Appl. Phys. Lett., Vol.71, No.23, pp.3394-3396, 1997

[2] R. Schlesser, M. T. McClure, W. B. Choi, J. J. Hren, and Z. Sitar, "Energy distribution of field emitted electrons from diamond coated molybdenum tips", Appl. Phys. Lett., Vol.70, Vol.12, pp.1596-1598, 1997

[3] J. S. Lee, K. S. Liu, and I. N. Lin, "Direct-Current bias effect on the synthesis of (001) textured diamond films on silicon", Appl. Phys. Lett., Vol.67, No.11, pp.1555- 1557, 1995

[4] N. A. Fox, W. N. Wang, T. J. Davis, J. W. Steeds, and P. W. May, "Field emission properties of diamond films of different qualities", Appl. Phys. Lett., Vol.71, No.16, pp.2337-2339, 1997

[5] Hwantae Park, Young-Kyu Hong, Jin Seung Kim, and Chan Park, "Surface morphology of laser deposited diamondlike films by atomic force microscopy imaging", Appl. Phys. Lett., Vol.69, No.6, pp.779-781, 1996

[6] 이광렬, "다이아몬드성 카본필름의 응용개발현황과 실용화 전망", 월간세라믹스, Vol.8, 통권89호, pp.84-88, 1995

[7] Sol Aisenberg, and Ronald Chabot, "Ion-Beam Deposition of Thin Films of Diamondlike Carbon", J. Appl. Phys., Vol.42, No.7, pp.2953-2958, 1971

[8] Jae Hoon Jung, Byeong Kwon Ju, Hoon Kim, Yun Hi Lee, Suk Jae Chung, Jin Jang, and Myung Hwan Oh, "Effect of Diamond-like Carbon Coating on the Emission Characteristics of Molybdenum Field Emission Arrays", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.45, No.10, pp.2232-2237, 1998

[9] Shen Zhu, Fatemeh Shahedipour, and Henry W. White, "Low-Temperature Synthesis of Diamondlike Carbon Films on Steel Substrates by Electron-Cyclotron-Resonance Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition", J. Am. Ceram. Soc., Vol.81, No.4, pp.1041-1044, 1998

[10] Jae Yeob Shim, Eung Joon Chi, Hong Koo Baik, and Sung Man Lee, "Structural, optical, and field emission properties of hydrogenated amorphous carbon films grown by helical resonator plasma enhanced chemical vapor deposition", Jpn. J. Appl. Phys., part 1, Vol.37, No.2, pp.440-444, 1998

[11] F. Y. Chuang, C. Y. Sun, T. T. Chen, and I. N. Lin, "Local electron field emission characteristics of pulsed laser deposited diamondlike carbon films", Appl. Phys. Lett., Vol.69, No.23, pp.3504-3506, 1996

[12] I. A. Bogonin, A. L. Karuzskii, N. N. Melnik, Yu. A. Mityagin, V. N. Murzin, A. A. Orlikovsky, A. V. Tsikunov, N. A. Volchkov, and B. G. Zhurkin, "Diamond- like coating prepared by pulsed laser sputtering of graphite in a high-vacuum environment", Applied Surface Science, Vol.92, pp.43-46, 1996

[13] 방성식, 이상렬, 정해석, 박형호, "펄스 레이저 증착법에 의한 전계 방출기용 DLC 박막의 제작", 한국 정보디스플레이 학술대회 논문집, pp.43-44, 1998

[14] Shin-ichi Aoqui, Tomoaki Ikegami, and Kenji Ebihara, "Spectroscopic Study of Carbon Nitride Preparation by KrF Excimer Laser Ablation", The Korea-Japan Joint Workshop on Plasma Technologies and Applications, pp.5-9, 1998

[15] 이상렬, "펄스 레이저 증착법의 원리와 응용", 전기학회지, 제45권, 5호, pp.17-22, 1996

[16] F. Y. Chuang , C. Y. Sun , H. F. Cheng , W. C. Wang, and I. N. Lin , "Effect of morphology on electron emission characteristics of pulsed laser deposited diamond-like films" Applied Surface Science Vol.113-114, pp.259-263, 1997

[17] D. Beeman, J. Silverman, R. Lynds, and M. R. Anderson, "Modeling studies of amorphous carbon"

Phys. Rev. B, Vol. 30, No.2, pp.870-875, 1984
[18] R. O. Dillon, John A. Woollam, and V. Katkanant, "Use of Raman scattering to investigate disorder and crystallite formation in as-deposited and annealed carbon films" Rhys. Rev. B, Vol. 29, No. 6, pp.3482-3489, 1984
[19] J. P. Zheng, Q. Y. Ying, S. Witanachchi, Z. Q. Huang, D. T. Shaw, and H. S. Kwok, "Role of the oxygen atomic beam in low-temperature growth of superconducting films by laser deposition", Appl. Phys. Lett., Vol.54, No.10, pp.954-956, 1989.
[20] Dong Seog Eun, and Sang Yeol Lee, "Laser energy density dependence of pulsed laser deposited $Pb_{1-x}La_xTiO_3$ thin films", The Korea-Japan Joint Workshop on Plasma Technologies and Applications, pp.3-9, 1998
[21] Ruth E. Whan et. al., "Metals Handbook - Volume 10 materials characterization", American Society for Metals, 1986, pp.568-580
[22] U. Müller, and R. Hauert, "XPS investigation of Ti-O containing diamond-like carbon films", Thin Solid Films, Vol.290-292, pp.323-327, 1996
[23] M.A. Capano , N.T. McDevitt , R.K. Singh and F. Qian, "Characterization of amorphous carbon thin films" J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.14, No. 2, pp.431-435, 1996
[24] Li Qingshan, Fang Rongchuan, and Ma Yurong, "Optical absorption and photoluminescence of unhydrogenated carbon films", Thin Solid Films, Vol.226, p.99, 1993

저 자 소 개

심 경 석(沈 坰 晳)
전기학회 논문지 제48C권 5호 참조
Tel : 02-361-2776
E-mail : ksshim@bubble.yonsei.ac.kr

이 상 렬(李 相 烈)
전기학회 논문지 제48C권 5호 참조
Tel : 02-361-2776
E-mail : sylee@bubble.yonsei.ac.kr