

마이크로웨이브 화학기상증착법으로 성장된 다이아몬드상 카본박막의 물리적인 특성연구

최원석, 홍병유

성균관대학교 정보통신공학부

Physical Properties of Diamond-like Carbon Thin Films Prepared by a Microwave Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition

Won Seok Choi and Byungyou Hong

School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan Univ.

Abstract

DLC thin films were prepared by microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition method on silicon substrates using methane (CH₄) and hydrogen (H₂) gas mixture. The negative DC bias (-450 V ~ -550 V) was applied to enhance the adhesion between the film and the substrate. The films were characterized by Raman spectrometer. The surface morphology was observed by an atomic force microscope (AFM). And also, the friction coefficients were investigated by AFM in friction force microscope (FFM) mode, which were compared with the pin-on-disc (POD) measurement.

Key Words : Diamond-like Carbon (DLC), Thin Film, Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition(MWPECVD), Friction Force Measurement (FFM)

1. 서론

Diamond-like carbon(DLC)은 높은 경도와 낮은 마찰계수, 화학적 안정성과 낮은 광학손실을 보이는 박막이다[1]. 이러한 DLC박막의 특성으로, 하드디스크나 마그네틱 저장매체 등의 보호박막으로 사용된다. DLC박막은 스퍼터링법[2], 펄스레이저법[3], plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD)법[1,4] 등 여러 가지 방식의 합성기술이 알려져 있다. 이러한 여러 방법들 중에서 microwave PECVD법은 높은 이온화도와 높은 이온 밀도를 가지는 플라즈마를 형성한다, 또한 부가적인 bias를 가하여 증착효율을 높일 수 있다. 그간 microwave PECVD와 RF-bias를 사용한 연구들은 많이 발표되어 왔지만, DC-bias를 사용한 결과는 아주 드물다. 이에 본 논문에서는 DC bias 전압에 따라서 microwave PECVD법으로 증착된 DLC 박막의 물리적인 특성에 대하여 알아보았다.

2. 실험

DLC 박막은 2 cm × 2 cm의 p-type (100) 실리콘기판 위에 microwave PECVD법을 사용하여 증착하였으며, DC bias 전압을 변수로 사용하였다.

실험에 사용된 기판은 아세톤, 메탄올, 및 증류수 속에서 각각 10분간 초음파 세척한 후, 80 °C의 황산용액(H₂O₂:H₂SO₄=1:5)에 10분간 세척 후, HF용액을 사용하여 자연산화막을 제거하였다. 박막 합성전 플라즈마의 안정화와 시편의 오염물질제거를 위하여 DC bias -550 V에서 5분간 전처리를 하였다. DLC 박막의 합성엔 메탄과 수소가스를 사용하였으며 모든 시편은 15분간 증착하였다. 실험조건을 표 1에 정리하였다. 증착된 박막의 두께는 alpha step (Tencor alpha-step 500)을 사용하여 측정하였고, 박막의 표면상태는 AFM(Digital instrument nanoscope 3A)으로 확인하였다. 또한 Raman spectrometer(Jobin-Yvon T64000)을 사용하여 DLC 박막의 구조분석에 사용하였으며 friction force

microscopy(FFM)과 pin-on disk(POD)법을 사용하여 마찰특성을 알아보았다.

표 1. DLC 박막의 증착조건.

Substrate	p-type Si(100)
Deposition gas	CH ₄ : 20 sccm H ₂ : 80 sccm
Working pressure	1 Torr
Microwave power	1 kW
DC bias	-450 V to -550 V
Deposition time	15 minutes
Substrate temperature	Room Temperature

3. 결과 및 고찰

그림 1은 -350 V에서 -600 V까지 DC bias 전압을 변화시켜 증착한 DLC 박막의 증착률이다. 바이어스 전압이 증가할수록 증착률이 높아지는 것을 알 수 있는데 이는 DC 바이어스가 카본 이온들의 기관으로 향할 수 있도록 도와주며, 이러한 이유로 높은 바이어스 전압일수록 증착률이 높아짐을 알 수 있다.

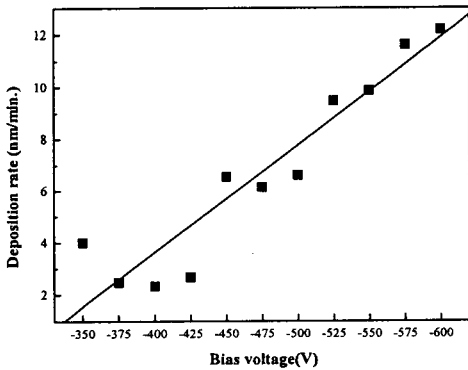


그림 1. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 증착률.

그림 2는 DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 표면을 보여주는 AFM 이미지이며, 그림 3은 박막의 거칠기(surface roughness)와 peak to valley(P-V)값을 보여주고 있다. 모든 DLC 박막이 낮은 거칠기를 보이지만 바이어스 전압이 높아질수록 박막의 거칠기가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

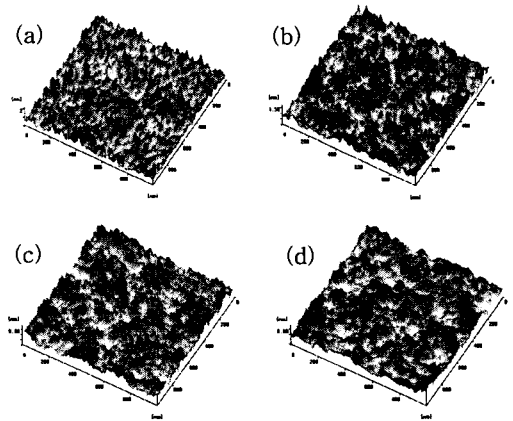


그림 2. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 AFM 이미지, (a) -450 V, (b) -475 V, (c) -525 V, (d) -550 V.

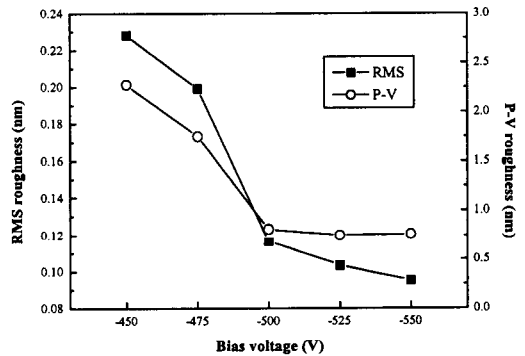


그림 3. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 거칠기.

그림 4는 DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 Raman 분석 결과를 보여주고 있다. 전형적인 DLC 박막의 Raman 스펙트럼을 보여주고 있으며, 모든 박막이 1545 cm⁻¹ 근처에서의 G 피크와 1340 cm⁻¹ 근처에서의 D 피크를 보여주고 있다.

그림 5는 AFM의 FFM 모드에서 측정된 박막의 friction force의 변화를 보여주고 있다. friction force는 FFM에서 측정된 FFM수치를 식(1)의 FFM항에 대입하여 구할 수 있었으며, 이 friction force의 기울기가 friction coefficient이며, 그림 6에 보여지고 있다. 바이어스 전압이 높을수록 friction coefficient 값이 작아지는 것을 알 수 있다.

$$F_t = \frac{0.4 \times \left(\frac{d}{L}\right) \times C_t \times FFM(mV)}{S_{dir}} \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

여기에서, d는 cantilevers의 두께, L은 cantilevers 팔길이, C_t 는 483.3 N/m, S_{dir} 는 40 mV/nm 이다.

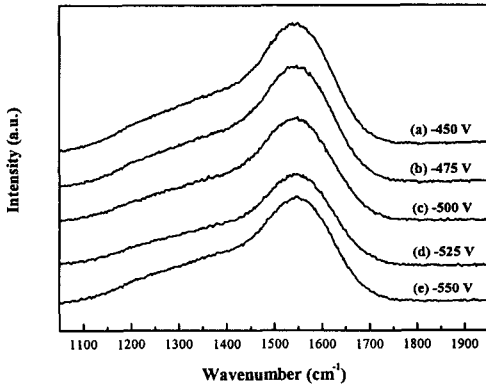


그림 4. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 Raman spectrum.

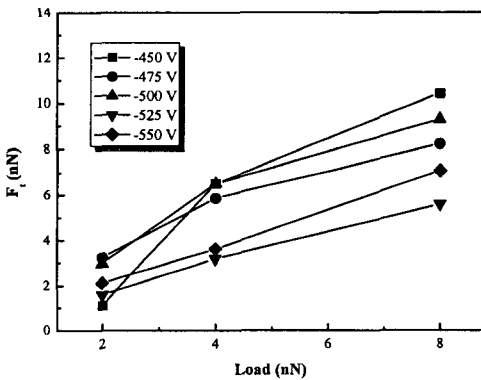


그림 5. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 friction force.

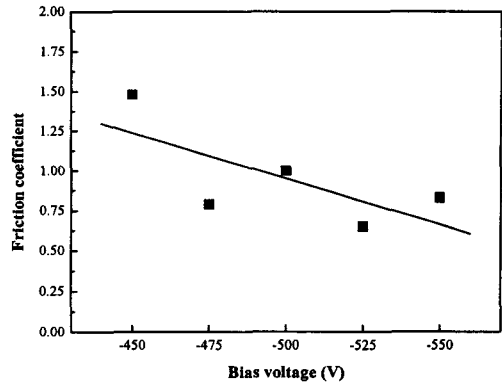


그림 6. DC 바이어스 전압에 따른 DLC 박막의 friction coefficient.

그림 7은 POD법으로 측정된 DLC박막의 steady state까지 도달하는데 걸리는 회전수를 보여주고 있으며, 그림 8은 DC 바이어스 -550 V에서 증착한 시편의 POD 측정 후 평면 SEM 이미지를 보여주고 있다. 바이어스 전압이 높을수록 friction coefficient 값이 steady state까지 도달하는데 걸리는 회전수가 줄어드는 것을 확인 할 수 있으며, DC 바이어스가 높을수록 마찰관점에서 더 좋은 박막을 합성할 수 있음을 확인할 수 있다.

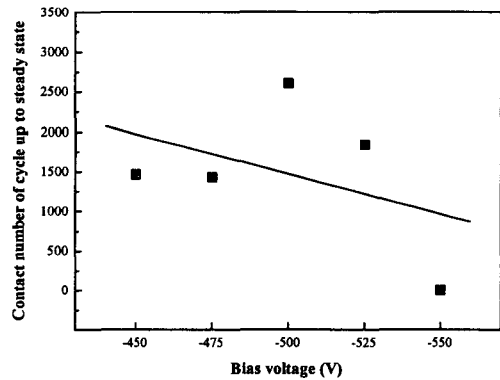


그림 7. DC 바이어스에 따른 DLC 박막의 steady state에 도달하는 회전수.

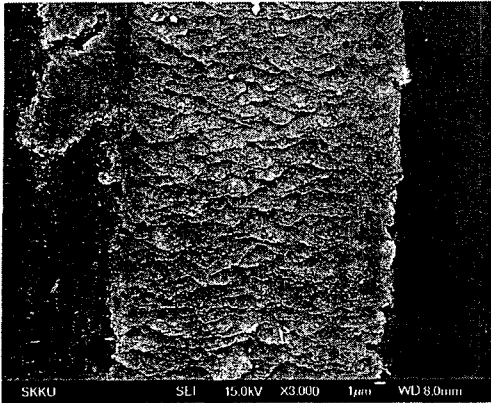


그림 8. -550 V DC 바이어스에서 증착된 시편의 pin-on disk 분석 후 평면 SEM 이미지.

4. 결 론

본 연구에서는 DLC 박막을 Si기판 위에 Microwave PECVD 법으로 DC bias 전압을 변화시키며 상온에서 15분간 증착하였다. DC 바이어스 전압이 증가할수록 박막의 증착률이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. AFM 결과를 통하여 DC 바이어스 전압이 높을수록 박막의 거칠기가 줄어드는 것을 알 수 있었고, FFM과 POD 결과를 통해서 DC 바이어스 전압이 높을수록 DLC 박막의 마찰특성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 성균관대학교의 과학기술부 지정 플라즈마 응용 표면기술 연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] J.-I. Suzuki and S. Okada, Jap. J. Appl. Phys. 34 (9B) (1995) L1218.
- [2] N. Savvides, J. Appl. Phys. 59 (1986) 4133.
- [3] Y.F. Lu, S.M. Huang, C.H.A. Huan, X.F. Luo, Appl. Phys. A 68 (1999) 647.
- [4] M.A. Tamor, C.H. Wu, R.O. Carter, N.E. Lindsay, Appl. Phys. Lett. 55 (1989) 1388.