

## RF Low Energy Plasma Beam에 의한 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 증착

김 동 선<sup>†</sup>

공주대학교 공과대학 화학공학부  
(2000년 6월 5일 접수, 2000년 11월 13일 채택)

## Deposition of Diamond-like Carbon Thin Film by RF Low Energy Plasma Beam

Dongsun Kim<sup>†</sup>

School of Chemical Engineering, Kongju National University, 182 Shinkwandong, Kongju, Chungnam 314-701, Korea  
(Received 5 June 2000; accepted 13 November 2000)

### 요 약

기판에 입사하는 이온 에너지 및 flux의 제어가 가능한 플라즈마 공정에 의거한 RF ion source를 이용하여 상온에서 기판에 직류자체 부전압을 인가하지 않고 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막을 증착하였다. 이는 CH<sub>4</sub>과 H<sub>2</sub> 가스를 이용하여 기판에 충돌하는 이온 에너지 및 flux를 제어하기 위해 이온 가속망에 인가된 RF 전력에 의한 직류자체 부전압(DC Self Bias Voltage)을 변화시키면서 행하였으며, 증착된 박막의 구조 및 광학적 특성은 Ellipsometer, UV-VIS Spectrometer, Raman spectroscopy 등을 이용하여 분석하였다. 이온 가속망에 인가한 직류자체 부전압이 -50 V에서 -300 V로 증가함에 따라 굴절률 상수는 1.89에서 2.35로 증가하였고, -100 V에서 -300 V로 증가함에 따라 광학적 띠틈폭은 2.35에서 1.35로 감소하였으며, I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub>의 비는 0.79에서 4.48로 증가하였다. 이런 결과로부터, 낮은 RF 전력 인가로 인한 직류자체 부전압을 가하면 고분자 특성을 갖는 탄소 박막이 증착되어 지고 높은 직류자체 부전압을 가하면 증착된 박막은 흑연화(graphite)한 탄소박막이 증착됨을 알 수 있었다.

**Abstract** – The diamond-like carbon thin films were deposited by RF ion source which can control ion energy and flux incident on the substrate without applying substrate bias voltage at room temperature. The film depositions are performed using a mixture of methane and hydrogen and changing the DC self bias voltage via RF power applied to ion accelerating grid electrode in order to control the energy and flux of ions bombarding the substrate. The structure and optical properties of the films are evaluated by ellipsometer, UV-VIS spectrometer, and Raman spectroscopy. The refractive index of the deposited films increases from 1.89 to 2.35 as DC self bias voltage is increased from -50 V to -300 V. The optical bandgap decreases from 2.35 to 1.35 and the ratio of I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> obtained from Raman spectroscopy increases from 0.79 to 4.48, respectively, with increasing DC self bias voltage from -100 V to -300 V. From this results it is concluded that at low DC self bias voltage (<-50 V), soft, polymer-like films are formed while at moderately high DC self bias voltage (-100 V to -200 V), diamond-like carbon (DLC) films are formed, and at high DC self bias voltage (>-300 V), graphite-like carbon films are formed due to high ion bombardment.

Key words: RF Ion Source, Diamond-like Carbon Thin Film, PECVD, Plasma Process

### 1. 서 론

최근에 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막(diamond-like carbon(DLC) thin film)은 높은 경도(high hardness), 낮은 마찰 계수(low friction coefficient), 적외선과 가시 영역에서 높은 투과성(high transparency), 생물학적 호환성(biocompatibleness), 우수한 절연성(excellent insulation), 표면 매끄러움(smoothness) 및 화학적인 안정성(chemical stability) 등의 독특한 특성[1, 2]을 가지고 있기 때문에 scratch-resistant, wear-resistant, anti-reflecting, protective coating을 위해 스퍼터링[3], 이온빔 스퍼터링[4],

직접 이온빔 증착[5], 플라즈마 아크[6], 펄스 레이저 증착[6], 직류 또는 고주파 플라즈마 화학증착법[7, 8] 및 ECR[9, 10] 등의 여러 증착 방법에 의해 많은 연구가 진행되고 있다.

다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 특성은 여러 증착 방법에 따라 다양하나 대부분 증착 방법에서 박막에 충돌하는 이온의 에너지 및 flux는 증착되어 지는 박막의 구조 및 특성을 결정하는데 중요한 역할을 한다[11, 12]. 기판에 충돌하는 이온 에너지의 크기에 따라 증착된 박막은 polymer-like carbon, diamond-like carbon, 그리고 graphite-like carbon으로 분류되어 질 수 있다. 매우 낮은 이온 에너지에서 증착된 박막은 연약하고, 높은 수소 함량을 가지며(polymer-like carbon), 매우 높은 이온 에너지에서 증착된 박막은 수소 함량을 감소시키나

<sup>†</sup>E-mail: dskim@knu.kongju.ac.kr

다이아몬드 특성을 갖는  $sp^3$ 구조를 graphite특성을 갖는  $sp^2$ 의 구조로 변화(graphite-like carbon)시킬 뿐만 아니라, 증착되어 지는 박막에 심한 이온 충돌로 인한 compressive stress를 발생시켜 증착한 후 얼마의 시간이 경과되지 않아 증착된 박막의 벗겨짐(peel-off)을 야기시킴으로 증착된 박막의 접착력(adhesion) 및 신뢰성(reliability)에 큰 영향을 미친다[13]. 그러므로, 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 증착에 있어서 이온 에너지 및 flux의 제어는 증착된 박막의 구조 및 특성을 향상시키는데 있어서 필수적으로 요구되어 지는 조건이다. 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 응용에 있어서 또 다른 주요 성능 제한은 300 °C이상의 온도에서 쉽게 graphite화 또는 산화되어 다이아몬드의 특성을 잃어버리기 때문에 열에 대한 안정성(thermal stability)을 향상시켜야 하는 문제점을 가지고 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 특성은 그다지 크게 변화시킴 없이 실리콘 또는 다른 성분(N, W 등)들을 포함한 다이아몬드 특성을 갖는 나노 복합 탄소 박막[Diamond-Like Nanocomposite (DLN)]을 개발하여 실용화를 추진하고 있다[14-16]. 또한, 최근에 초고 집적회로에서 금속 층간 절연막으로 저 유전체 박막을 요구하고 있기 때문에 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막에 불소를 첨가한 불소화된 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막[Fluorinated Diamond-Like Carbon(FDLC)]( $k=2.0-2.4$ )을 개발하는데 연구를 많이 하고 있다[17-19].

본 연구에서는 기존의 증착 방법에 의해 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막을 증착할 경우 생기는 위에서 언급한 문제점들을 해결하기 위해 이온 에너지 및 flux의 제어가 가능한 플라즈마 공정에 의거한 RF ion source를 이용하여 기판에 직류자체 부전압을 인가하지 않고 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막을 증착하였다. 이는  $CH_4$ 와  $H_2$  가스를 이용하여 기판에 충돌하는 이온 에너지 및 flux를 제어하기 위해 이온 가속망에 인가된 직류자체 부전압을 변화시키면서 행하였으며, 증착된 박막의 구조 및 특성을 Ellipsometer, UV-VIS Spectrometer, Raman Spectroscopy 등을 이용하여 분석하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 플라즈마 공정을 의거한 RF ion source의 개략도는 Fig. 1에 나타나 있다. 이 공정은 크게 두 개의 부분으로 나누어져 있다. 하나는 RF ion source부분과 플라즈마 반응기 부분이다. RF ion source는 스테인레스 스틸로 만들어진 3"직경의 반원형의 접지된 상부 전극과 스테인레스판으로 만들어진 1 mm직경과 1.8 mm 간격의 타공인 RF전력이 인가된 하부 전극(가속망)으로 구성되어 있다. 두 전극은 1 cm 두께의 원통형 테프론에 의하여 분리되어 있다. 공급전원 장치는 L형 rf 임피던스 matching network 그리고 13.56 MHz rf 공급 전원으로 구성되어 있다. 반응기는 12" 높이와 12" 직경의 원통형으로 스테인레스 스틸로 만들어졌으며, RF ion source는 고무 오링을 통하여 그 위에 올려질 수 있도록 설계되어 있다. 또한 반응기는 오일 확산 펌프와 기계적 펌프의 결합에 의하여 진공으로 만들어지며 고진공 압력측정기(Penning Gauge, Vacuum Science, INC., Korea), 절대 압력측정기(Baratron Gauge, MKS 627A, USA)로 구성되어 있다. 기판 홀더는 저온 순환기에 의하여 냉각수를 순환하여 20 °C를 유지하였고 Grid와 기판 홀더는 5 cm 떨어져 있다.

공급 가스들은 3개의 질량 흐름 제어기(mass flow controller, MKS, USA)을 통하여 정확히 제어되어지고 반응기의 압력은 절대압력측정기에 연결된 압력제어기(MKS, U.S.A)에 의하여 throttle valve를 제어함으로써 제어되도록 되어 있다. 또한 가속망에 RF 전력을 공급함으로써 생긴 직류자체 부전압은 RF 필터를 통하여 DC 전압을 측정하였다. 박막을 증착하기 전에 기판의 세척을 위해 100 mTorr, -200 V Self-Bias

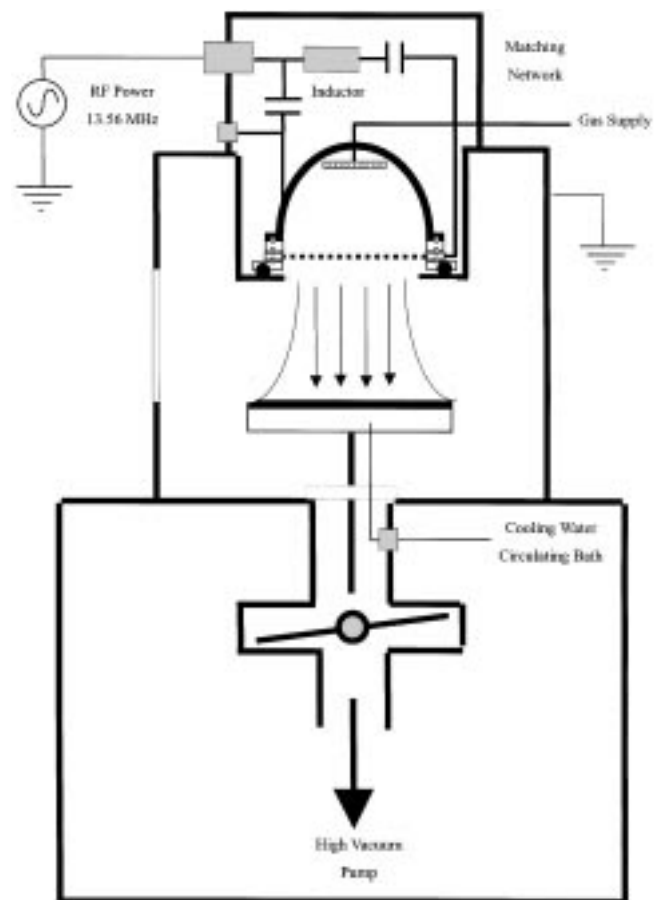


Fig. 1. Schematic description of the RF ion sources and plasma reactor used in this study.

Table 1. Conditions used for the deposition of diamond-like carbon thin films

Sources gases	Methane : 20 sccm
	Hydrogen : 30 sccm
Substrate used	Silicon Wafer, KBr Disk, Quartz Disk
Power sources	13.56 MHz RF
Grid DC self bias voltage	-50 Volt ~ -300 Volt
Reactor base pressure	$< 2.0 \times 10^{-5}$
Reactor pressure	100 mTorr
Substrate temperature	20 °C

전압에서 알곤 플라즈마로 10분 동안 처리하였다. 박막 증착에 사용된 운전 조건들은 Table 1에 나타나 있다.

증착된 박막의 두께는 thickness profilometer로 대략 측정한 후 Ellipsometer를 이용하여 정확하게 측정함과 동시에 굴절률 상수(refractive Index)도 측정하였다. Raman 스펙트럼들은 후산란(backscattering) 구조 형태에서 얻어지며, 측정하고자 하는 시료의 열적 분해를 피하기 위해서 알곤 레이저(514.18 nm)를 이용하여 40-60 mW의 낮은 전력에서 측정하였다. 광학적 락의 측정은 석영 원판에 증착한 박막을 UV-Vis Spectrometer(Shimadzu Model UV-160)를 이용하여 흡수도를 측정하여 산출되어진다.

### 2-2. RF Low Plasma Beam 원리

RF ion source원리는 비대칭 전극을 갖는 RIE 에칭 장치의 원리와 유

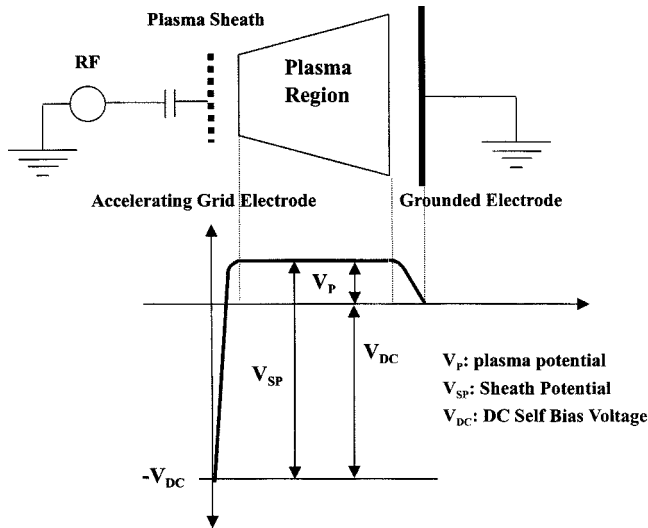


Fig. 2. Spatial distribution of average potential in RF-powered diode reactor.

사하다. 하부 전극에 여기시키기 원하는 가스들이 파괴가 일어날 수 있는 최소의 전계를 가하면 글로우 방전, 즉 플라즈마가 발생한다. 이 플라즈마 속의 이온과 전자의 질량과 속도에 있어서 커다란 차이 때문에 플라즈마는 정전하와 부전하 입자의 단위면적당 손실을 균형을 유지하기 위해서 주위에 대하여 정전위를 유지한다. 이를 “플라즈마 전위(plasma potential)”라하며, 이 전위 때문에 전극과 반응기벽 주위에 전자가 걸려된 영역이 생기며 이를 dark space(“Sheath”)라 한다. 높은 여기 주파수(>1 MHz)에서는 이온들은 그들의 높은 질량 때문에 가해진 교류장에 대응하지 못하기 때문에 전자들이 주된 전류 운반체 역할을 한다. 이런 조건하에서 플라즈마는 전도체 그리고 sheath는 축전기와 같이 역할을 하는 것처럼 보인다. 이때 조그마한 아래 전극에서는 정전하와 부전하 입자 플럭스가 균형을 유지하도록 부 직류 자체 전압(DC Self Bias Voltage)이 형성되어진다. Fig. 2에 비대칭형 전극을 갖는 플라즈마 반응기에서 형성되어지는 플라즈마 전위, sheath전위, 그리고 DC Self Bias Voltage에 대하여 잘 묘사되어 있다[20]. 이런 직류 자체 부전압은 원통형 접지된 상부 전극과 RF 전력이 인가된 가속망 전극과의 면적비의 차이 때문에 생긴다.

본 연구에서는 조그마한 면적의 가속망에 RF 전력이 인가되므로 가속망 주위의 sheath영역에서 sheath 전위 만큼의 커다란 전위강하로 정전하 이온들이 가속화되어 기관으로 입사되어질 것이다. 그러므로 가속망에 가해진 RF 전력변화에 따라 가속망에 발생한 직류 자체 부전압을 제어함으로써 기관에 입사하는 이온의 에너지와 플럭스를 제어할 수 있다는 것이 기본 원리이다. 실제 플라즈마 상태를 관찰하여 보면 기관 주위에 sheath가 생기지 않으며 plasma beam과 같이 보여진다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

#### 3-1. 직류 자체 부전압(DC Self Bias Voltage)

Fig. 3은 100 mTorr의 반응기압력에서 가속망에 인가된 RF 전력의 변화에 따른 가속망에 생긴 직류 자체 부전압을 나타낸 것이다. RF 전력이 증가함에 따라 직류 자체 부전압은 직선적으로 증가하지 않고 처음에는 급격히 증가하다가 완만히 증가하는 경향을 보인다. 이런 직류 자체 부전압은 원통형 접지된 상부 전극과 RF 전력이 인가된 가속망 전극과의 면적비의 차이 때문에 생긴 것으로 기관에 입사하는 이온의 에너지와 flux를 제어할 것으로 여겨진다.

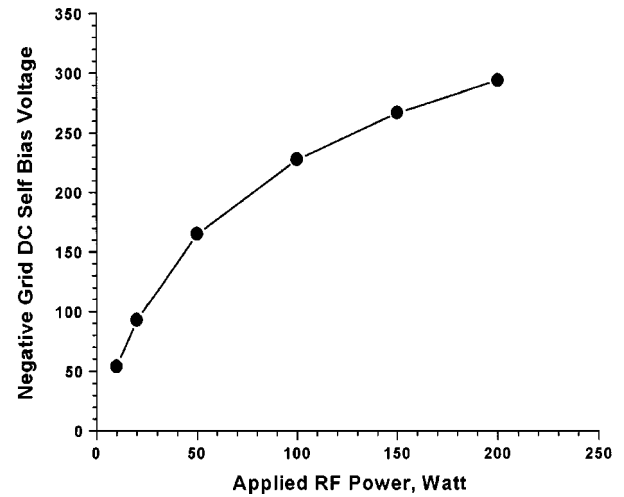


Fig. 3. Effects of applied RF power on Grid DC self bias voltage at 100 mTorr.

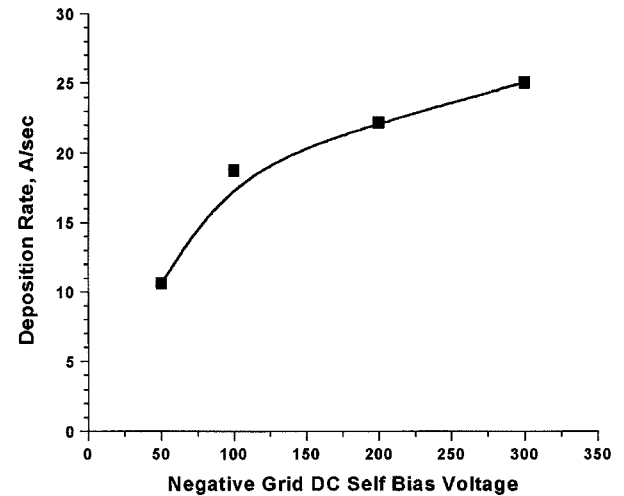


Fig. 4. Effect of DC self bias voltage on deposition rate at 100 mTorr.

#### 3-2. 증착속도와 굴절률 상수(Deposition Rate and Refractive Index)

Fig. 4는 가속망에 인가된 직류 자체 부전압의 변화에 따른 증착 속도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 직류 자체 부전압을 증가함에 따라 증착 속도는 거의 직선적으로 상승하다가 포화되어 지는 양상을 보인다. 증착된 박막의 굴절률 상수는 박막의 밀도, 화학양론 성분비, 그리고 쌍극자 모우먼트에 관련되어 있다. Fig. 5는 가속망에 인가된 직류 자체 부전압의 변화에 따른 굴절률 상수(n)를 나타낸다. 가속망에 인가된 직류 자체 부전압의 증가에 따라 초기에는 급격히 증가하다가 완만히 상승한다. 굴절 상수(n)는 직류 자체 부전압이 -50 V에서 -300 V로 증가했을 때 1.89에서 2.35로 증가한다. 문헌에 의하면 DLC의 박막의 굴절률 상수는 증착된 박막의 구조에 따라 변화한다고 보고되어 있다. 일반적으로 상대적으로 낮은 n값(1.9 아래)은 고분자 탄소박막을 나타내고, 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막의 굴절률 상수 값은 2.1-2.2를 나타내고 보다 더 큰 n값은 증착된 박막이 흑연화하는 경향을 나타낸다고 보고되고 있다[21]. 그러므로, 본 연구에서 증착된 박막은 낮은 가속망에 인가된 직류 자체 부전압(-50 V)에서는 고분자 탄소 박막(polymer-like carbon)이 얻어지고 매우 높은 직류 자체 부전압(-300 V)에서는 흑연화된 탄소박막(graphite-like carbon)이 얻어짐을 알 수 있다. 이는 라만의 분석 결과에서도 잘 나타나 있다.

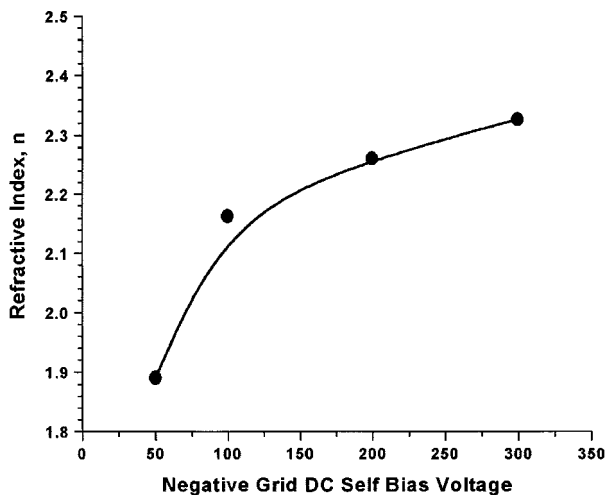


Fig. 5. The variation of refractive index of DLC films deposited at different DC self bias voltage and 100 mTorr.

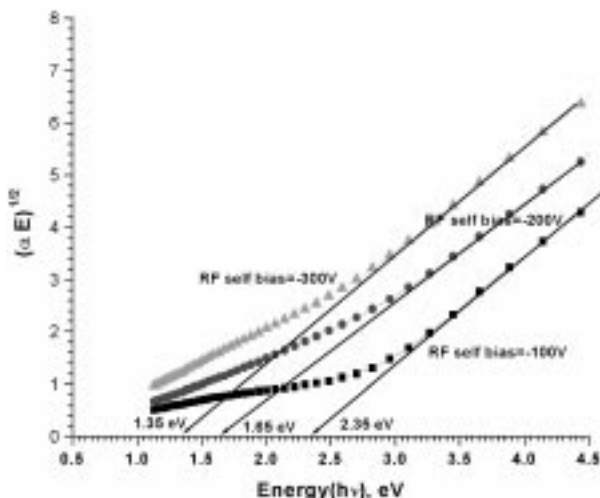


Fig. 6. Tauc's plot depending on DC self bias voltage for calculating optical Bandgap at 100 mTorr.

### 3-3. 광학적 띠틈(Optical Bandgap)

Fig. 6은 3개의 다른 가속망에 인가된 직류자체 부전압의 변화에 따른 광학적 에너지 띠틈를 산출하기 위한 Tauc의 plot을 나타낸다. 일반적으로 박막들은 자외선-가시광선 영역에서 두 개의 흡수영역을 나타낸다. 하나는  $\alpha$ 가  $10^4 \text{ cm}^{-1}$ 보다 큰 Tauc 흡수영역이고 다른 하나는 낮은 광 에너지에 위치한 흡수영역이다. 충전대에서 전도대로 전자가 움직이는데 요하는 에너지를 나타내는 전기적인 띠틈과 유사한 광학적 띠틈은 Tauc 흡수영역에서 다음의 경험적인 상관식으로부터 산출되어진다 [22].

$$(\alpha E)^{1/2} = \beta(E - E_g)$$

여기서  $\alpha$ 는 흡수율을 계수이고,  $E$ 는 광에너지,  $\beta$ 는 비례상수, 그리고  $E_g$ 는 광학적 띠틈을 나타낸다. 가속망에 인가된 직류자체 부전압이 -100 V, -200 V, 그리고 -300 V일 때  $E_g$ 값은 각각 2.35, 1.65, 그리고 1.35 eV였다. 문헌에 의하면  $E_g$ 는 큰  $\pi$ -결합 응집체 크기에 역 비례한다고 알려져 있기 때문에 [23] 가속망에 인가된 직류자체 부전압이 증가함에 따라 큰 응집체가 형성됨을 알 수 있다. 응집체 형성의 메커니즘은 확실히 이해되어 있지 않으나 에너지를 갖는 이온에 의한 C-H결합의

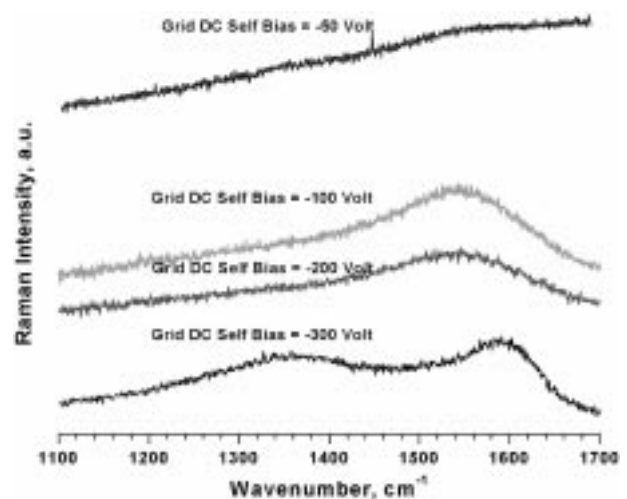


Fig. 7. Raman spectra of DLC films prepared at different DC self bias voltage and 100 mTorr in the wavenumber from  $1,100 \text{ cm}^{-1}$  to  $1,700 \text{ cm}^{-1}$ .

파괴는  $\text{sp}^2$ 결합,  $\text{sp}^3$ 탄소 구조망 그리고 매달린 결합(dangling bond)의 형성을 촉진시키는 것으로 여겨진다. 배합된  $\pi$  결합과 방향족 환고리들은 탄화수소 화합물에서 에너지면에서 안정하기 때문에 직류자체 부전압이 증가함에 따라 증가할 것으로 기대된다. Robertson [23]은 다음과 같은 큰 응집체의 크기,  $N$ 과  $E_g$ 와의 정량적인 관계식을 제안하였다.

$$E_g = \frac{E_{go}}{\sqrt{N}}$$

여기서  $E_{go}$ 는 단지 하나의 환고리 응집체와 연관된 에너지값이고 그 이론값은 6.0 eV이다. 측정된  $E_g$ 값으로부터 계산한  $N$ 의 값은 5.76, 13.2, 그리고 19.75로 직류자체 부전압이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가한다.

### 3-4. Raman에 의한 박막 특성 분석

Fig. 7는 4개의 다른 직류자체 부전압에서 증착된 DLC박막에 대한  $1,100 \text{ cm}^{-1}$ - $1,700 \text{ cm}^{-1}$ 의 영역에서 제1차 라만 스펙트럼들을 나타낸다. 문헌에 의하면 DLC박막은  $1,580 \text{ cm}^{-1}$  근처의 G띠( $G$ 는 “graphitic”의미)와  $1,360 \text{ cm}^{-1}$  근처의 D띠( $D$ 는 “disorder”의미)의 두 개의 주된 라만 활동도를 나타낸다고 보고되고 있다 [24-26]. -50 V의 직류자체 부전압에서 증착된 박막은 흔히 고분자 특성을 갖는 박막에서 관찰되어지는 특정한 라만 피크를 나타내지 않는다 [27]. 이런 라만 신호의 부재는 라만 신호의 감지를 방해하는 부드러운 박막의 강한 광 루미네스센스 배경 때문이다. 이 결과로부터 낮은 직류자체 부전압에서 증착된 박막은 고농도의 고분자와 같은  $\text{sp}^3$  C-H결합을 많이 함유하고 있다는 것을 나타낸다. -100 V 이상의 직류자체 부전압에서 증착된 박막의 경우 대부분의 DLC에서 관찰되어지는 박막 속에 흑연 미세 결정체(graphite crystallites)가 많이 함유된 것을 의미하는 넓은 G선과 약한 D선이 지배적이다. 라만 스펙트럼에 있어서 중요한 변수들은 G띠에 대한 D띠의 아래 면적 비인 강도의 비( $I_D/I_G$ ), G선의 피크 위치( $\omega_G$ ), 그리고 G피크와 D피크의 FWHM(Full Width at half-maximum)( $\Gamma$ )이다.  $I_D/I_G$ 는 박막에 포함되어 있는  $\text{sp}^2$ 의 분율을 나타내는 것이 아니라  $\text{sp}^2$ 구조의 배열을 나타내는 흑연 미세 결정체의 크기에 비례하고 흑연화 정도에 비례한다고 알려져 있고 [24, 25], 박막의 고유 압축성 스트레스는 판전자를 높은 주파수로 이동시키므로 G띠의 위치를 위쪽으로 이동시키는 결과를 유발한다고 알려져 있다 [28]. 또한 G피크의 FWHM은 흑연의 결정체 형태를 나

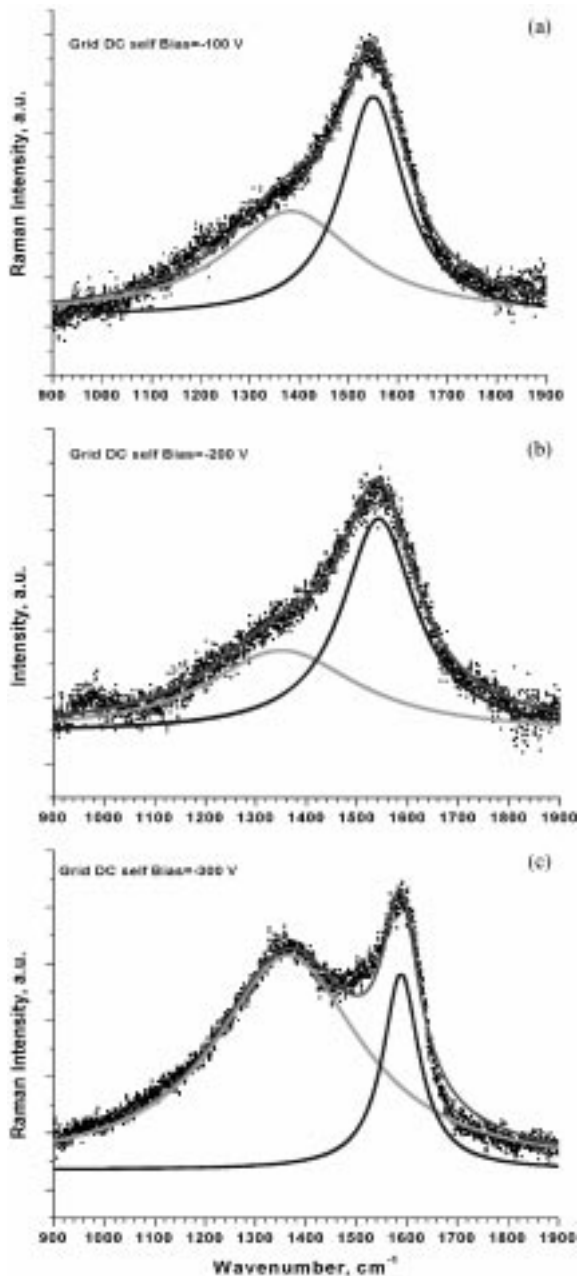


Fig. 8. Gaussian curve fitting of Raman spectra for films deposited at DC self bias voltage of (a) -100 V, (b) -200 V, and (c) -300 V, and 100 mTorr.

타낸다고 보고되고 있다[29, 30]. Fig. 7에서 -100 V에서 -300 V까지의 직류자체 부전압에서 증착된 박막의 라만 스펙트럼들을 가우시안 곡선 피팅에 의해 deconvolution한 결과를 Fig. 8에 나타내었고 계산된 주요 변수들은 Table 2에 나타나 있다. 이 결과로부터 직류자체 부전압이 -100 V에서 -300 V로 증가함에 따라  $I_D/I_G$ 는 0.79에서 4.48로 증가한 것으로 보아 고 직류자체 부전압에서 증착된 박막은 흑연화가 촉진되어짐을 보여주고, G피크의 위치가 -100 V의  $1542.9\text{ cm}^{-1}$ 에서 -300 V의  $1588.6\text{ cm}^{-1}$ 로 위쪽으로 이동은 고 에너지의 충돌로 인한 증착에 가해진 박막의 압축성 스트레스 때문인 것으로 여겨지며, G피크의 FWHM가 -100 V의  $176.42\text{ cm}^{-1}$ 에서 -300 V의  $87.38\text{ cm}^{-1}$ 로 감소된 것은 미세 결정체 흑연이고 에너지이온 충돌로 인하여 응집이 진행되어 결정체 흑연으로 되어진 것으로 여겨진다.

Table 2. The main Raman parameters calculated from Gaussian curve fitting of Raman spectra for films deposited at DC self bias voltage of (a) -100 V, (b) -200 V, and (c) -300 V, and 100 mTorr

Samples		D Peak		G Peak		$I_D/I_G$
		$\omega_o(\text{cm}^{-1})$	$\Gamma(\text{cm}^{-1})$	$\omega_o(\text{cm}^{-1})$	$\Gamma(\text{cm}^{-1})$	
Grid	−100 V	1350.5	362.32	1542.9	176.42	0.79
DC bias	−200 V	1382.8	329.85	1549.9	153.33	1.03
Voltage	−300 V	1364.7	356.73	1588.6	87.38	4.48

## 4. 결 론

기판에 입사하는 이온 에너지 및 flux의 제어가 가능한 플라즈마 공정에 의거한 RF ion source를 제작하고, 이를 이용하여 기판에 직류자체 부전압을 인가하지 않고 다이아몬드 특성을 갖는 탄소 박막을 증착하였다. 이는  $\text{CH}_4$ 과  $\text{H}_2$  가스를 이용하여 기판에 충돌하는 이온 에너지 및 flux를 제어하기 위해 이온 가속망에 인가된 직류자체 부전압을 변화시키면서 행하였으며, 증착된 박막의 구조 및 특성을 Ellipsometer, UV/VIS Spectroscopy, Raman 등을 이용하여 굴절률 상수, 광학적 락스, 탄소-탄소간의 결합 구조 등을 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 이온 가속망에 인가한 직류자체 부 전압을 -50 V에서 -300 V까지 증가시키에 따라 굴절률 상수는 1.89에서 2.35으로 증가하였고,
- (2) -100 V에서 -300 V로 증가시키에 따라 광학적 락스는 2.35에서 1.35로 감소하였으며,  $I_D/I_G$ 의 비는 0.79에서 4.48로 증가하였다.

이런 결과로부터, 낮은 RF 전력 인가로 인한 직류자체 부전압을 가하면 고분자 특성을 갖는 탄소 박막이 증착되어 지고 매우 높은 직류자체 부전압을 가하면 증착된 박막은 흑연화(graphite)한 탄소박막이 증착됨을 알 수 있었다. 또한 장기간이 지나도 박막의 벗겨짐(peel-off)이나 울퉁불퉁하여짐(buckling)이 없는 양질의 다이아몬드 특성을 갖는 탄소박막을 얻을 수 있었다.

## 감 사

이 논문은 1998년도 한국 학술진흥재단의 신진교수연구 지원과제 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Robertson, J.: *Prog. Solid St. Chem.*, **21**, 199(1991).
2. Tsai, H. and Bogoy, D. B.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A5**(6), 3287(1987).
3. Muller, D. E., L. E., Veerasamy, V. S., Birkmeyer, J., Ward, J. and Weiss, J.: *Thin Solid Films*, **286**, 59(1996).
4. Andre, B., Rossi, F. and Dunlop, H.: *Diamond and Related Materials*, **1**, 307(1992).
5. Enisherlova, K. L., Kontsevoi, Yu. A., Chervyakova, E. N., Mitrofanov, E. A. and Maishev, Yu. P.: *Materials Science and Engineering*, **B46**, 137(1996).
6. Scheibe, H.-J. and Schultrich, B.: *Thin Solid Films*, **246**, 92(1994).
7. Lee, J. H., Kim, D. S., Lee, Y. H. and Farouk, B.: *J. Electrochem. Soc.*, **143**(4), 1451(1996).
8. Koidl, P., Wild, Ch., Dischler, B., Wagner, J. and Ramsteiner, M.: *Materials Science Forum*, **52 & 53**, 41(1989).
9. Nagai, I., Ishitani, A., Kuroda, H., Yoshikawa, M. and Nagai, N.: *J.*

- Appl. Phys.*, **67**(6), 2890(1990).
10. Rusli, S. F., Yoon, H., Yang, Q., Zhang, J. A. and Fu, Y. L.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A16**(2), 572(1998).
  11. Angus, J. C.: *Thin Solid Films*, **216**, 126(1992).
  12. Martinu, L., Klemberg-Sapieha, J. E., Kuttel, O. M., Raveh, A. and Wertheimer, M. R.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A12**(4), 1360(1994).
  13. Lee, J. H., Kim, D. S., Lee, Y. H. and Farouk, B.: *J. Mater. Sci. Lett.*, **14**, 1132(1995).
  14. Lee, J. H., Kim, D. S., Lee, Y. H. and Farouk, B.: *Thin Solid Films*, **280**, 204(1996).
  15. Wu, W.-J. and Hon, M.-H.: *Thin Solid Films*, **307**, 1(1997).
  16. Dorfman, V. F.: *Thin Solid Films*, **212**, 267(1992).
  17. Grill, A., Patel, V. and Jahnes, C.: *J. Electrochem. Soc.*, **145**(5), 1649(1998).
  18. Endo, K., Tatsumi, T., Matsubara, Y. and Horiuchi, T.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**(4A), 1809(1998).
  19. Kim, D. S., Lee, Y. H. and Park, N.-K.: *Appl. Phys. Lett.*, **69**(18), 2776(1996).
  20. Lieberman, M. A. and Lichtenberg, A. J.: "Principles of Plasma Discharges and Materials Processing," Chap. 12(1994).
  21. Donnelly, K., Dowling, D. P., Davitt, E., O'Brien, T. P. and Kelly, T. C.: "Proceedings in Materials Processing Technologies '93," ed. By Hashmi, M. S. J., 769(1993).
  22. Tauc, J.: "Amorphous and Liquid Semiconductors," Chap. 6, Plenum, London(1976).
  23. Robertson, J. and O'Reilly, E. P.: *Phys. Rev.*, **B35**, 2946(1987).
  24. Dillon, R. O., Woollam, J. A. and Katkanant, V.: *Phys. Rev.*, **B29**, 3482(1984).
  25. Tuinstra, F. and Koenig, J. L.: *J. Chem. Phys.*, **53**, 1126(1970).
  26. Nemanich, R. J., Glass, J. T., Lucovsky, G. and Shroder, R. E.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A6**, 1783(1988).
  27. Gonzales-Hernandez, J., Chao, B. S. and Pawlik, D. A.: *J. Vac. Sci. Technol.*, **A7**, 2332(1989).
  28. Ager, J. W., Anders, A. and Brown, I. G.: *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 3444(1995).
  29. Chhowalla, M., Ferrari, A. C., Robertson, J. and Amaratunga, A. J.: *Appl. Phys. Lett.*, **76**, 1419(2000).
  30. Hallil, A. and Despax, B.: *Thin Solid Films*, **358**, 30(2000).