

PECVD에 의한 DLC 박막의 성장과 그 특성 조사

조재원 · 김태환 · 김대욱* · 최성수*

광운대학교 전자물리학과
*선문대학교 물리학과
(1998년 3월 30일 접수)

The Growth of Diamond-Like-Carbon (DLC) Films by PECVD and the Characterization

J. Cho, T.W. Kim, D.W. Kim* and S.S. Choi*

Department of Physics, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

**Department of physics, Sunmoon University, Asan 336-840, Korea*

(Received March 30, 1998)

요 약 - PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 방법을 이용하여 비정질 고상 탄소 박막의 하나인 유사 다이아몬드(Diamond-Like-Carbon; DLC) 박막을 증착하였다. FT-IR Spectroscopy와 Raman Scattering 등을 통해 박막의 구조적 특징을 조사하였는데, 박막은 microcrystalline diamond domain과 graphitelike carbon domain들이 수소화된 sp^3 사면체 구조의 비정질 탄소에 의해 그물 구조로 연결되어진 것으로 보인다. 이러한 추정은 I-V 특성 조사의 결과와도 좋은 일치를 보이는데, 특히 I-V 조사에서는 전류의 갑작스러운 증가가 관측되어졌으며 이것은 graphitelike carbon domain 들간의 전자 tunneling 현상으로 이해되어진다. 그리고 대단히 얇은 탄소 박막에 대한 Raman 산란 조사에서는 증착 초기 상태에 β -SiC 층이 형성되어지는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract - DLC (Diamond-Like-Carbon) thin film, one of the solid state amorphous carbon films, has been deposited by the method of PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition). The structural features have been characterized using both FT-IR Spectroscopy and Raman Scattering. The film is considered to consist of microcrystalline diamond domains and graphitelike carbon domains, which are interconnected by hydrogenated sp^3 tetrahedral carbons. This shows a good agreement with the results by I-V measurements. In I-V study, the sudden increase of current has been observed and this phenomenon is understood to be due to the tunneling effect between graphitelike domains. A characteristic feature related to the β -SiC has been identified in the study of Raman Scattering for the very thin film, which suggests that a buffer layer forms at the interface of the Si substrate and the carbon film.

1. 서 론

유사 다이아몬드(Diamond-like Carbon; DLC)는 비정질 탄소 구조를 가진 물질로서 산업 기술적인 관심의 대상이 되는 물성을 많이 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 성질은 결정질 다이아몬드의 특징과 비슷한 것으로, 높은 경도, 내마모성, 윤활성과 같은 기계적 특성 뿐만 아니라, 높은 열전도율, 매우 낮은 열팽창률 등의 열적 특성도 포함하고 있다. 또한 유사 다이아몬드는 화학적으로 대단히 안정할 뿐만 아니라 자외선에서 적

외선에 걸친 넓은 영역의 투과성 그리고 낮은 굴절률과 같은 우수한 광학적 특성도 지니고 있다. 이상에서 언급한 DLC의 특성을 이용하여 현재 여러 방면으로의 기술적 응용이 이루어지고 있다. 기계용 공구의 내구성 및 절단 성능 향상을 위한 윤활 coating에서부터 자기 기록 헤드나 optical disk의 표면 보호를 위한 coating에 이르기까지 DLC 박막이 응용되어 지고 있다. 또한 높은 열전도도를 포함한 우수한 열적 성질은 냉각 소자, 즉 heat sink로의 응용을 가능하게 하고 있다.

최근 들어 유사 다이아몬드 박막을 평판 표시(flat

panel display)를 위한 FED(field emission display)의 tip으로 응용하고자 하는 연구가 기대를 모으고 있는데, 이것은 다이아몬드 뿐만 아니라 유사 다이아몬드가 가지는 매우 낮은 일함수와 음전자친화성(negative electron affinity)을 이용한 것이다. 현재에는 FED용 tip 소자로 결정질 실리콘이 이용되어지고 있다. 그러나 이것은 전자 방출을 위하여 높은 전압을 가해야 하며, 또한 실리콘 tip의 산화를 방지하기 위한 고진공이 필요하다. 그리고 형광 물질(phosphor)로부터 야기되는 tip의 노화가 크다는 단점도 가지고 있다. 그러나 DLC 박막은 낮은 일함수를 가지고 있을 뿐만 아니라 이것 또한 조절이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 그러므로 낮은 외부 전압에서도 충분히 전자 방출이 가능할 뿐만 아니라 tip을 뾰족하게 만들 필요도 없다. 이것은 FED용 tip 소자를 평평한 형태로 제작하는 것을 가능하게 하고 있다. 또한 DLC 박막은 화학적으로 불활성이므로 산화로 인한 문제나 노화 문제 등을 해결할 수 있다. 그 결과 DLC 박막을 이용한 기술은 제작 공정이 간단하고 보다 효과적인 평판 표시 장치의 구현을 실현시킬 수 있는 것이다.

본 연구에서는 플라즈마에 의해 강화된 기상 증착법(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition; PECVD)으로 DLC 박막을 성장시켰는데, 이것은 수소화된 비정질 탄소 박막(hydrogenated amorphous carbon; a-C:H)의 형태를 가지고 있는 것으로 알려져 오고 있다. 우리는 DLC 박막의 구조에 깊은 관심을 두고 여러 증착 조건에 따른 박막의 물리적 성질을 분석하였다. 탄소 박막은 전형적으로 밀도가 크고 단단하며 화학적 저항력을 가지고 있는데, 이러한 성질은 박막 내의 탄소 결합과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 여겨진다. 탄소 박막은 그 내부의 탄소 결합 형태에 따라 다이아몬드(등방성의 사면체 sp^3 결합), 흑연(층상 결정 sp^2 결합) 그리고 비정질 탄소 혹은 DLC 등으로 크게 구분할 수 있다[1].

본 연구에서 source gas로는 CH_4 을 사용하였으며, DLC 박막은 상온에서 실리콘 기판 위에 증착시켰다. 연구의 주된 관심은 증착 조건에 따른 박막의 구조에 있었으며, 이것은 Raman Scattering, FT-IR Spectroscopy, I-V 특성 조사 등의 방법으로 조사되어졌다.

2. 탄소 박막의 증착

본 연구는 플라즈마 화학 기상 증착법(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition; PECVD)을 이용

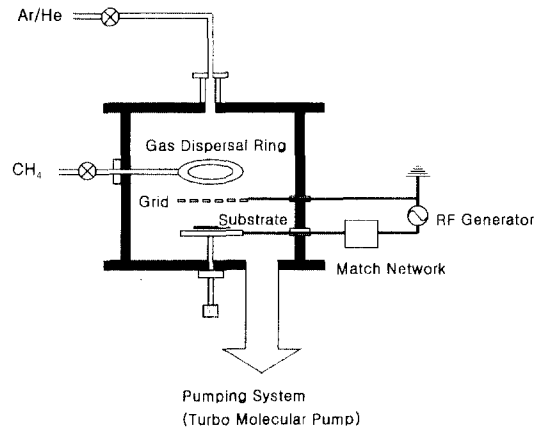


Fig. 1. DLC 박막을 위한 PECVD 반응 장치 개요도.

하여 DLC 박막을 성장시켰으며, Fig. 1은 플라즈마 반응 장치(plasma reactor)의 개요도를 보여주고 있다. 기관으로는 지름 1 inch 크기의 Si(111)을 사용하였다. 증착을 하기 전에 He/Ar 혼합 기체를 이용한 플라즈마로 기관에 생긴 자연 산화막과 다른 불순물을 제거하였다.

반응 장치 중간 높이에 있는 기체 분산 고리(gas dispersal ring)로부터 유입되는 100% CH_4 gas는 반응 장치의 꼭대기로부터 나오는 He/Ar 기체와 혼합된 채 반응 장치의 아래쪽으로 흐르게 된다. 이 혼합 기체는 약 3 cm 정도의 간격으로 놓여 있는 grid와 기관 사이의 RF 전력(13.56 MHz)에 의해 여기 되어서 증착에 참여한다. 기관은 알루미나(alumina)에 의해 절연된 체 stainless steel로 만들어진 전극 위에 놓여져 있다. 나머지 하나의 전극으로는 grid가 그 역할을 하는데 역시 stainless steel로 만들어져 있다.

반응 장치 내의 압력 조절은 반응 장치 밑바닥에 연결되어져 있는 turbomolecular pump를 이용하였으며, 반응 전 초기 압력은 2×10^{-6} torr 이하를 유지할 수 있도록 하였다.

탄소 박막은 플라즈마의 출력, 반응 압력(process pressure), 원료 기체의 유량비 등과 같은 증착 변수를

Table 1. DLC 박막(시료 1, 2, 3)의 증착 조건

시료	plasma power (W)	process pressure (mT)	gas flow rate			증착 온도	증착 시간
			CH_4	He	Ar		
1	100	20	30	5	60	RT	1hr
2	100	20	50	5	60	RT	1hr
3	50	10	40	5	30	RT	1hr

조절하면서 상온에서 증착되어졌으며, 본 연구의 분석에 사용되어진 시료 1, 2, 3에 대한 증착 조건은 Table 1에 나타나 있다. 증착된 박막의 두께는 SEM(Scanning Electron Microscopy)에 의해 측정되어졌는데 시료 1, 2, 3 모두 약 2000Å 정도였다.

3. 실험 결과와 DLC 박막의 특성

3.1 FT-IR Spectroscopy

Fig. 2는 DLC 박막 시료 1, 2, 3에 대한 FT-IR Spectroscopy 실험 결과를 비교하여 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 여러 개의 흡수 피크를 확인할 수 있었는데, 이 연구를 위해 증착된 DLC 박막과 관련하여 생각할 수 있는 것은 3개라 할 수 있다. 그 하나는 파수 970 cm^{-1} 근처에 나타나는 작고 뾰족한 것이고, 또 하나는 파수 1180 cm^{-1} 근처에 있는 것이다. 마지막 하나는 $2900\sim 2930\text{ cm}^{-1}$ 근처의 비교적 크고 넓은 흡수 피크이다. 나머지 복잡하게 나타나는 많은 피크들은 주로 공기 중의 수증기나 이산화탄소 등과 관련되어 있는 진동 모드라 여겨진다.

우선 파수 1180 cm^{-1} 근처에 나타나는 피크는 이미 보고되어져 있는 파수 1167 cm^{-1} 의 진동 모드와 비교해 볼 때, 미세 결정(microcrystalline) 다이아몬드나 비정질(amorphous) 다이아몬드로부터 비롯되어 진다고 여겨진다[2]. 이것은 이 연구에서 증착되어진 DLC 박막들이 적어도 부분적으로는 비교적 작은 영역($2\text{ nm}\sim 100\text{ nm}$ 에 이르는 크기)의 결정화된 다이아몬드 구조를 가지거나 또는 비정질 다이아몬드 구조를 포함하고 있음을 나타내고 있는데, 두 경우 모두 이웃하는 탄소 원자들이 sp^3 형태로 결합되어져 있는 상태이다. 여기서 피크의 위치에 있어서 약 10 cm^{-1} 정도의 차이가 나는 것은 얇은 박막의 두께로 인한 strain 효과나 결합 환경의 차이에서 기인한다고 생각되어진다.

그리고 파수 $2900\sim 2930\text{ cm}^{-1}$ 에 걸쳐 나타나는 비교적 넓은 피크 역시 이미 보고되어진 진동 모드와 비교하여 생각해 볼 때, $\text{sp}^3\text{-CH}_n$ 결합으로부터 기인하는 것이라고 생각된다[2]. 그리고 앞서 언급한 다른 피크와 비교하여 볼 때 그 피크의 폭이 넓은 것은 sp^3 결합 구조를 가진 CH_n 화합물이 여러 가지 형태로 이웃하는 탄소 원자와 결합되어져 있음을 암시하고 있다. sp^3 결합의 의미하듯 이러한 결합 형태의 탄소 원자들은 사면체 구조 즉 4개의 결합손(fourfold coordination)을 가지므로

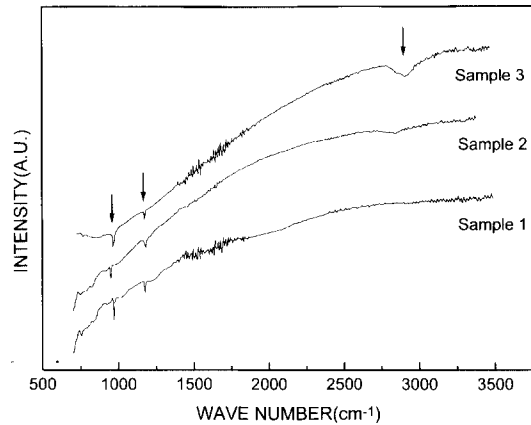


Fig. 2. 시료 1, 2, 3에 대한 FT-IR 흡수 스펙트럼.

그 결합손 중 일부는 CH_n 과 같은 수소 화합물과 결합하나 나머지 결합은 이웃하는 탄소 원자와 연결되어져 있을 것이다. 그러므로 DLC 박막의 내부 구조는 수소화(hydrogenation)된 탄소 그물 구조 또한 포함하고 있다고 생각할 수 있다.

마지막으로 파수 970 cm^{-1} 근처에 나타나는 피크는 지금까지의 결과로는 그 근원을 이야기할 수 없으나 C-H aromatic ring이나 $-\text{CH}=\text{CH}_2$ 로부터 오는 진동 모드와 관련이 있으리라 여겨진다[2].

결론적으로 말해, 위의 FT-IR Spectroscopy 실험 결과는 DLC 박막이 미세 영역의 다이아몬드 결정 구조를 부분적으로 가지거나 또는 비정질 다이아몬드 결정구조를 부분적으로 포함하고 있을 뿐만 아니라 이들 미세 영역들은 사면체 구조로 결합한 수소화된 탄소 원자들에 의해 마치 그물(mesh)처럼 연결되어져 있다는 것을 암시하고 있다.

3.2 Raman Spectroscopy

결정질 다이아몬드와 결정질 흑연의 경우 Raman 산란의 특성을 각각 1332 cm^{-1} 와 1580 cm^{-1} 인 곳에서 확인할 수 있는데[3, 4], 탄소 박막과 관련하여 특징적인 Raman 피크들은 Table 2에 정리되어져 있다. Raman 산란을 위한 광원으로는 Ar 레이저의 514.5 nm line을 사용하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 이 연구를 위해 증착되어진 탄소 박막(DLC 박막) 1, 2에 대한 Raman 산란 spectrum을 보여주고 있다. 이들 spectrum은 Gaussian Fitting을 통해 분석되어졌는데, 그 결과 선 폭이 비교적 넓은 두 개의 피크를 공통적으로 확인할 수 있었다. 그

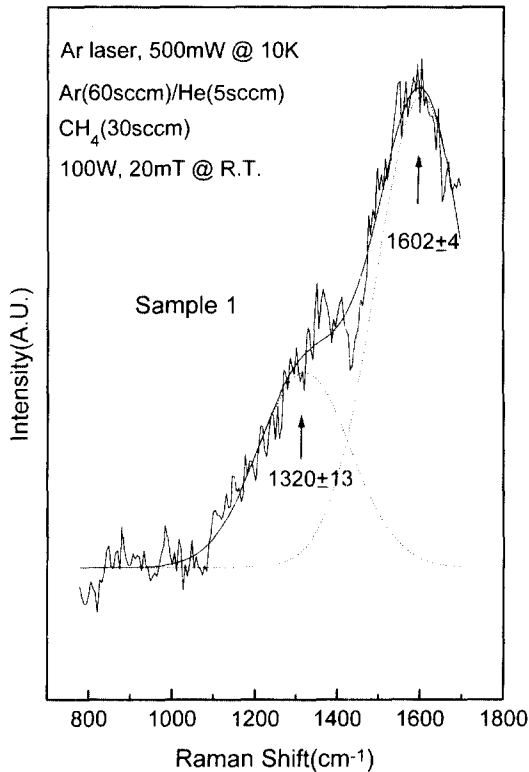


Fig. 3. 시료 1에 대한 Raman 스펙트럼.

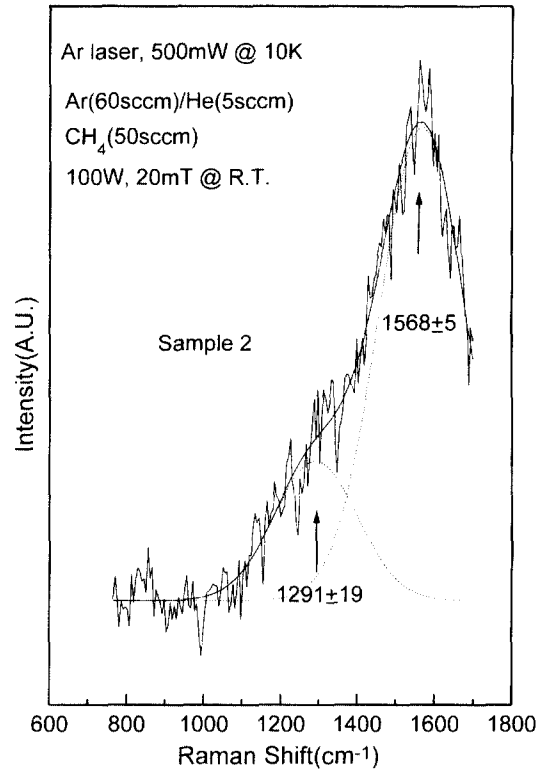


Fig. 4. 시료 2에 대한 Raman 스펙트럼.

중 하나의 피크는 크기가 작고 또 작은 Raman 편이(시료 1; 1320, 시료 2; 1291 cm^{-1})를 보이는 반면 또 다른 하나는 크기도 크고 큰 Raman 편이(시료 1; 1602 cm^{-1} , 시료 2; 1568 cm^{-1})를 보이고 있다. 논의의 편의상 전자를 피크 D, 후자를 피크 G라 부르기로 하겠다. CVD 과정을 통하여 증착되어진 박막은 성장 조건과 환경에 따라 결정질 구조 뿐만 아니라 비결정질 구조 또한 가질 수 있다. 그러나 탄소 박막의 경우 박막 내의 탄소 원자간의 결합은 두 가지 형태로 생각할 수 있는데, 하나는 흑연과 같은 threefold coordinated sp^2 상태이고, 나머지 하나는 다이아몬드의 경우와 같은 fourfold coordinated, 즉 sp^3 상태이다.

시료 성장 연구의 최종 목적은 단 하나의 구조를 가진 박막을 만드는 것이지만, 이 연구에서 증착한 DLC 박막은 FT-IR Spectroscopy 결과가 암시하듯 여러 구조들이 복합적으로 존재하리라 여겨진다. 그러나 Raman 산란을 이용한 실험 결과는 어떤 특정 구조에는 특별히 민감하게 반응하지 않은 채, 다른 특정한 구조에 의해 지배되어질 수도 있다. 예를 들어 X-ray 산란의 경우 결

정질 구조에 대한 산란 강도는 비결정질 구조에 대한 강도와 큰 차이를 보이고 있다. 또한 광학적 성질 역시 Raman 산란 결과에 큰 영향을 미치는데, 빛을 흡수하는 물질인 경우 공명 효과로 인해 Raman 산란 효과는 훨씬 강화되어질 수 있다. 다이아몬드와 흑연의 경우 Raman 산란 단면적이 측정되어져 있는데, 흑연의 1580 cm^{-1} band가 다이아몬드의 1332 cm^{-1} band에 비해 약 50배나 강한 산란 단면적을 보이고 있다[7]. 그러므로 Raman 산란은 당연히 탄소 박막 내의 흑연 구조를 훨씬 더 강조할 것이다.

Raman 산란 조사에서 나타난 두 특징적인 피크(피크

Table 2. 탄소 박막과 관련한 Raman 피크[5, 6]

Characteristic peak	Raman shift (cm ⁻¹)
a-C:H	1270
	1560
single diamond	1332
single graphite	1580
microcrystalline graphite	1350
	1590

D, 피크 G)를 FT-IR Spectroscopy 결과와 관련지어 조사하면 DLC 박막의 내부 구조를 좀 더 자세히 알 수 있을 것이다. Table 2에 나타나 있는 Raman 편이를 참고로 하여 이 두 피크를 살펴보도록 하자. 수소화된 비정질 탄소의 경우 Raman 편이는 1270 cm^{-1} 이고 또 결정질 다이아몬드의 경우 1332 cm^{-1} 이다. 이것은 피크 D가 diamondlike carbon과 관련이 있음을 시사하고 있다. 이것은 FT-IR Spectroscopy의 1180 cm^{-1} 흡수 피크가 microcrystalline 구조에 기인하는 것과 좋은 일치를 보여 주고 있다. 또한 단결정 흑연의 Raman 편이는 1580 cm^{-1} 이고 microcrystalline graphite의 Raman 편이는 1590 cm^{-1} 이므로 피크 G는 graphitelike carbon에 기인하리라 여겨진다. 그러므로 DLC 박막 내에 작은 domain의 결정질 다이아몬드가 부분적으로 산재해 있다는 생각을 할 수 있으며, 흑연과 유사한 구조들 또한 미세 결정의 형태로 박막 내에 존재하리라 여겨진다. 그리고 수소로 인해 형성된 $\text{sp}^3\text{-CH}_n$ 결합도 FT-IR Spectroscopy 조사에서 확인되어 졌는데, 수소는 박막의 구조와 물리적 성질에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

FT-IR Spectroscopy에서 언급한 바와 같이 박막의 두께나 결합 환경의 차이는 피크의 위치에 변화를 초래할 수 있다. 또한 피크의 선 폭이 넓은 것은 결정화된 domain의 크기와 phonon(소리알)의 수명에 그 원인을 들 수 있다. 결과적으로 넓은 피크는 다이아몬드와 흑연의 결정질 domain의 크기가 대단히 작다는 것을 시사하고 있다. 그리고 피크 D와 피크 G의 위치가 시료에 따라 약간의 차이가 있는데, 이것은 성장 조건이 박막의 구조와 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 다이아몬드에 대한 Raman 산란 단면적이 흑연에 비해 상당히 작으므로 피크 D의 크기가 비록 피크 G에 비해 작아도 상대적으로 훨씬 많은 양의 다이아몬드 구조를 가진 domain이 존재할 것으로 생각되어진다. 그리고 FT-IR Spectroscopy 조사에서 threefold 탄소 즉 sp^2 결합과 관련되어진 특징을 발견할 수 없었는데, 이것으로 보아 흑연과 유사한 구조를 가진 영역의 양이 유사 다이아몬드 영역과 비교해 볼 때 상대적으로 대단히 작다고 추정된다.

그러므로 FT-IR Spectroscopy와 Raman 산란 실험 결과를 비교해 보면, 작은 크기의 다이아몬드(microcrystalline diamond) 구조를 가진 domain들과 상대적으로 적은 양의 graphitelike carbon domain들이 수소화된 sp^3 사면체 구조의 비정질 탄소(a-C:H)에 의해 그물

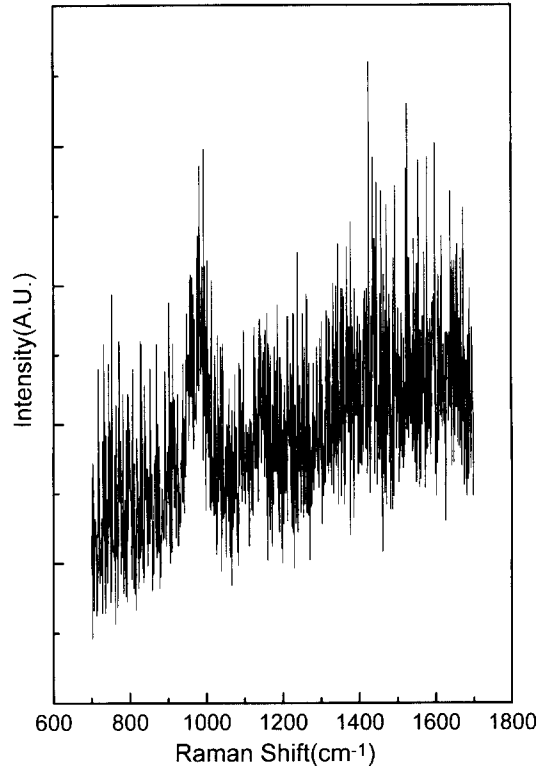


Fig. 5. DLC 박막의 초기 성장 상태에 대한 Raman 스펙트럼.

구조로 연결되어져 있다고 생각된다. FT-IR Spectroscopy의 $\text{sp}^3\text{-CH}_n$ 특성 또한 이러한 수소화의 결과로 여겨진다.

Fig. 5는 대단히 얇은 DLC 박막(두께: 약 1000 \AA)에 대한 Raman 산란 결과를 보여주고 있다. 진동수 980 cm^{-1} 근처에서 하나의 구조를 확인할 수 있었는데 이것은 $\beta\text{-SiC}$ 의 phonon 모드로 알려진 것이다. 그러므로 본 연구에서처럼 Si를 기판으로 사용하여 증착한 DLC 박막은 증착 초기 상태에는 $\beta\text{-SiC}$ 화합물을 형성하는 것을 알 수 있다. 이 $\beta\text{-SiC}$ 층은 마치 기판과 DLC 박막 사이의 완충 역할을 하는 것으로 생각된다.

3.3 I-V 특성 조사

I-V 특성 측정은 HP 4140B Picoampere Meter/DC Voltage Source을 이용하여 이루어졌다. 측정을 위한 금속 접촉(metal contact) (지름 1 mm , 두께 약 2500 \AA)은 금을 사용하였으며, 이것은 고진공 속에서 탄소 박막 위로 금을 증발시킴으로써 만들어 졌다.

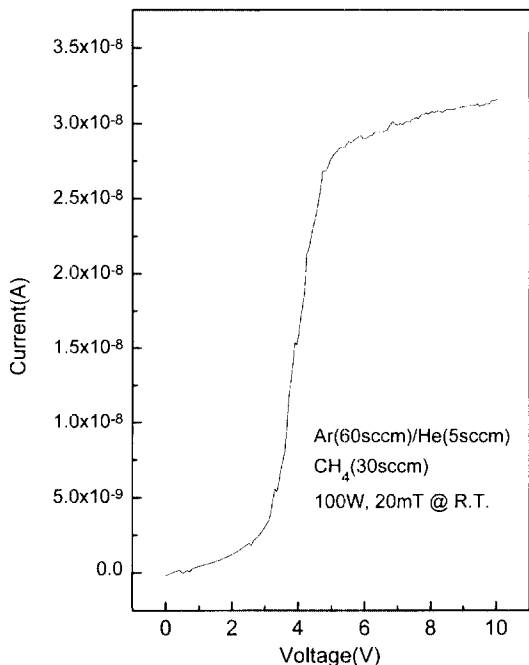


Fig. 6. 시료 1에 대한 I-V 특성 곡선.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 시료 1과 시료 3에 대한 I-V 특성 곡선을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 I-V 특성의 가장 큰 특징은 전압의 증가에 따라 갑작스러운 전류의 증가(전류 step)가 일어난다는 것이다. 그러나 이러한 전류의 급증 현상도 전압을 더욱 더 가함에 따라 다시 선형적 특성에 가깝게 돌아옴을 알 수 있다. 시료 2의 경우 시료 1과 거의 유사한 I-V 특성을 보이고 있으며, 시료 1, 2 모두 약 3~4V를 전후하여 이러한 급증 현상이 나타난다. 그러나 시료 3은 약 50V 근처에서 전류 step 현상을 보이는 것으로 측정되어졌다. 그리고 전류가 급증한 후 다시 선형적 특성으로 돌아왔을 때 I-V 관계를 통해 저항도(resistivity)를 조사한 바, 시료 1은 $4.8 \times 10^{11} \Omega\text{cm}$, 시료 2는 $1.0 \times 10^{11} \Omega\text{cm}$, 그리고 시료 3은 $2.7 \times 10^{10} \Omega\text{cm}$ 으로 각각 조사되었다.

결정질 다이아몬드의 경우 거의 부도체에 가까운 전기 저항도를 가지고 있으나 흑연은 다이아몬드와는 전혀 다르게 반금속이라 불릴 만큼 낮은 전기 저항도를 가지고 있다. 이제 본 실험 결과에서 보이는 갑작스러운 전류의 증가를 박막의 구조와 관련하여 살펴보고자 하자.

우리는 FT-IR Spectroscopy와 Raman 산란 실험 결과 박막 내부에는 크기가 대단히 작은 다이아몬드 결정

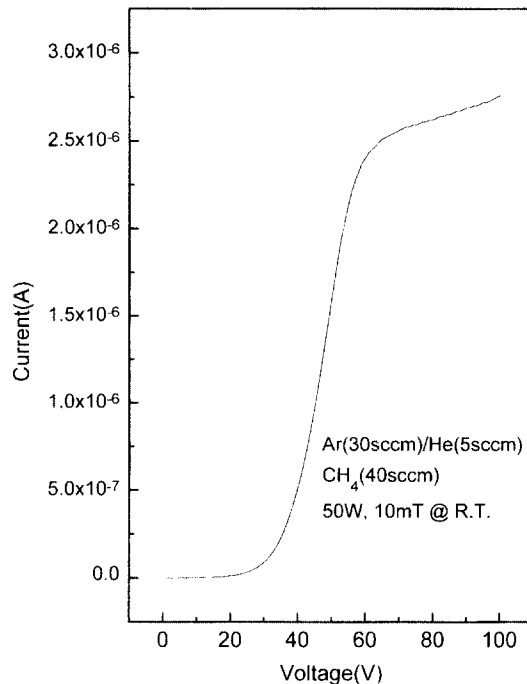


Fig. 7. 시료 3에 대한 I-V 특성 곡선.

domain과 아울러 흑연 구조를 가진 domain이 혼재해 있다고 결론 지었다. 그리고 이러한 domain들은 원자 scale로 무질서하게 결합되어진 수소화된 sp^3 탄소들에 의해 마치 그물 조직처럼 얽혀져 있다는 것을 알고 있다. 전하 운반자로서의 역할을 하는 자유 전자는 대부분 작은 크기의 흑연 domain(graphitelike domain; graphite cluster) 내에 갇혀져 있을 것이다. 그러나 외부 전압의 증가는 전자의 에너지를 크게 하여 그 결과 흑연 domain 간의 스미기(percolation)를 야기할 수 있는데, 이것은 마치 양자 tunneling 현상과 같은 것이다. 이 때 흑연 다발들을 연결시키고 있는 a-C:H 그물 구조는 tunneling 장벽으로서의 역할을 하고 있다고 볼 수 있다. 그러므로 앞에서 언급한 I-V 특성은 흑연 다발 내의 자유 전자가 tunneling함으로써 일어나는 스미기에 기인한다고 여겨진다.

이러한 추정은 FT-IR Spectroscopy 결과와도 좋은 일치를 보인다. 시료 3은 시료 1에 비해 큰 전압에 이르러 갑작스러운 전류의 증가를 보이고 있는데, 이것은 FT-IR Spectroscopy 결과와 결부하여 이해할 수 있다. 이미 확인한 바와 같이 시료 3의 FT-IR Spectroscopy의 sp^3 - CH_n 특성이 시료 1이나 시료 2에 비해 크다. 이것은 시

료 3이 보다 많은 sp^3-CH_n 결합을 가지고 있고 그로 말미암아 흑연 domain들을 서로 연결시키는 그물 구조가 더욱 더 강화된 것으로 볼 수 있다. 즉, 흑연 domain 간의 거리가 상대적으로 커져 보다 높고 넓은 장벽이 형성되어졌으며, 이로 인해 시료 3의 경우 tunneling을 위해서는 보다 큰 전압이 필요하리라 생각된다. 또한 시료 3이 시료 1과 2에 비해 저항도가 낮은 것은 흑연 domain을 연결하는 그물 구조 내에 많이 존재할 수 있는 전기적 trap이 수소에 의해 passivation 되어져 있는 결과라고 생각한다. 이것은 또한 박막 증착시 plasma power가 작을수록 그리고 반응 압력이 작을수록 전기적으로 활성적인 defect가 감소함을 의미하고 있다.

위에서 언급한 바와 같은 전류 step 현상은 박막 내의 defect에 의한 deep trap이 존재할 때에도 나타난다[8]. 그리고 수소화된 비정질 탄소 박막의 경우 박막 내에 존재하는 수소 원자는 전기적으로 활성적인 trap site일 수도 있다. 그러나 수소가 박막 내에 많이 존재한다는 것은 전기적으로 활성적인 trap이 증가하는 것을 의미하므로 결과적으로 전기 저항도가 높아질 것이다. 이 연구에서 증착한 DLC 박막의 경우 sp^3-CH_n 결합이 많을수록 즉 수소 함유량이 상대적으로 증가할수록 전기 저항도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이것은 시료 1, 2, 3 박막 내의 수소 원자는 전기적 trap으로 작용하기 보다는 박막 증착시 형성되는 trap을 전기적으로 중성화시키는 것으로 생각되어 진다.

4. 결 론

DLC 박막 형성의 초기 단계에는 $\beta-SiC$ 가 형성됨을 확인할 수 있었다. 그리고 DLC 박막의 구조는 FT-IR Spectroscopy와 Raman Spectroscopy 실험에 의해 조사

되어졌는데, 미세 크기의 다이아몬드(microcrystalline diamond) 구조를 가진 domain들과 상대적으로 적은 양의 graphitelike carbon domain들이 수소화된 sp^3 사면체 구조의 비정질 탄소(a-C:H)에 의해 그물 구조로 연결되어져 있는 것으로 여겨진다. 또한 DLC 박막에 대한 I-V 특성 조사에서 전압의 증가에 따른 갑작스러운 전류의 증가를 관측할 수 있었는데, 이것은 graphitelike carbon domain 간의 tunneling 현상으로 이해되어진다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 반도체 공동연구소의 교육부 반도체 분야 학술연구조성비(과제번호:ISRC 96-E-4037)와 한국 과학재단 특정연구과제(과제번호:96-0702-06-01-3)에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. M. A. Tamor, W. C. Vassel, and K. R. Carduner, *Appl. Phys. Lett.* **58**(6), 592 (1991).
2. B. Dischler, A. Bubenzer, and P. Koidl, *Appl. Phys. Lett.* **42**(8), 636 (1983).
3. S. A. Solin and A. K. Ramdas, *Phys. Rev.* **B1**, 1687 (1970).
4. R. J. Nemanich and S. A. Solin, *Phys. Rev.* **B20**, 392 (1979).
5. W. Dotter, R. Erz, K. Jung, and H. Ehrhardt, *Diamond materials*, edited by J. P. Dismukes, K. V. Ravi, *The Electrochemical Society, Inc.* 746 (1993).
6. R. J. Nemanich, J. T. Glass, G. Lucovsky, and R. E. Shroder, *J. Vac. Sci. Technol.* **A6**(3), 1783 (1988).
7. N. Wada and S. A. Solin, *Physica* **B105**, 353 (1981).
8. M. I. Landstrass and K. V. Ravi, *Appl. Phys. Lett.* **55**, 1391 (1989).