

마이크로웨이브 화학기상성장법을 이용한 다이아몬드 박막의 합성에 관한 연구

이병수^{1*}, 이상희^{1*}, 박상현^{2**}, 박구범^{3†}, 박종관^{3†}, 조기선^{3†}, 유도현^{3†}, 이덕출^{3†}
^{*}인하대학교, ^{**}경남대학교, [†]유한대학, [‡]안산공업전문대학

A Study on the Diamond thin film synthesized by Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition

Byoung-Soo Lee^{1*}, Sang-Hee Lee^{1*}, Sang-Hyun Park^{2**}, Gu-Bum Park^{3†}, Jong-Kwang Park^{3†},
 Ki-Sun Cho^{3†}, Do-Hyun You^{3†}, Duck-Chool Lee^{3†}
^{*}Inha University, ^{**}Kyungnam University, [†]Yuhan College, [‡]Ansan Tech. Junior College

Abstract - The metastable state diamond films have been deposited on Si substrates using MWPCVD. Effects of each experimental parameters of MWPCVD including CH₄ concentrations, Oxygen additions, Operating pressure, etc. on the growth rate and crystallinity were investigated. The best crystallinity of the film at 3% methane concentration addition of oxygen to the CH₄-H₂O mixture gave an improved film crystallinity at 50% oxygen concentration. Upon increasing the operating pressure, the growth rate and crystallinity were increased simultaneously.

을 합성하였다. 각 실험변수로 메탄농도(0.5~5%), 산소첨가(0~80%), 반응압력(30~70Torr)을 변화시켜 표면형상의 변화와 결정성, 성장율을 주사전자현미경, Raman Spectroscopy, X-선회절분석을 통하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 메탄농도에 따른 변화

그림 1은 XRD패턴에서의 Orientation growth를 나타내는데 2%까지는 (111)면이 3~4%에서는 (110)면이 우선성장했음을 알 수 있다. 이는 과포화도가 충분히 낮아 결정성장이 느리게 일어나는 경우에는 표면에 흡착된 활성종이 보다 안정한 자리로 이동하는데 필요한 시간이 충분하므로 열역학적 요인이 중요하게 작용하여 우선성장되며, 과포화도의 정도에 따라 각 결정면의 성장속도비가 결정된다. 과포화도가 증가하면 기상에서의 활성종을 빨리 감소시키는 방향으로 반응이 진행되므로 열역학적으로에 비해 반응속도론적 요인이 보다 중요하게 작용하여 단위면적당 결함수가 많으며 표면에너지가 큰 (110)면과 (100)면의 성장속도가 더욱 빨라지기 때문이다.

1. 서 론

기상에서의 다이아몬드 합성에 대한 연구는 1976년 구 소련의 Spitsyn¹⁾에 의해 원자상 수소가 다이아몬드 박막의 합성에 중요한 역할을 한다는 연구결과가 발표됨으로써 연구의 계기를 마련했으며, 1980년대 일본을 중심으로 전세계적으로 폭발적인 붐을 일으켰다. 현재까지 다이아몬드 기상 화학 증착 (CVD Chemical Vapor Deposition)²⁾ 장치나 성장속도에 대해서는 상당한 발전이 있었다. 다이아몬드는 도핑된 경우 hole mobility와 band gap이 매우 커서 고전력 microwave나 millimeter wave용도의 전자 디바이스로 가장 적합하나 heteroepitaxy와 N형 도핑의 어려움으로 열적, 기계적, 광학적 특성에 비해 실용화가 어려운 실정이다³⁾. 본 실험에서는 무전극으로 오염이 없으며 장시간 안정하게 다이아몬드를 합성할 수 있는 MWPCVD⁴⁾법을 이용 다이아몬드 박막을 합성하였으며, 실험 파라메타인 메탄농도, 산소농도, 압력의 변화가 성장조건에 미치는 영향을 중점적으로 검토함으로써 다이아몬드 박막 합성의 조건을 확립하는데 있다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 MWPECVD (Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)방법을 사용하여 메탄과 수소의 혼합가스로부터 다이아몬드 박막

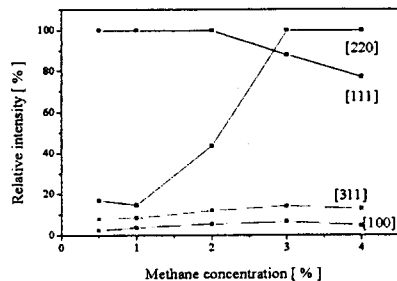


Fig. 1. XRD spectra showing the effect of the methane concentration

그림 2는 Raman분석결과로써 4%까지는 1332cm⁻¹에서 다이아몬드의 전형적인 peak만이 나타나는 반면에 특히 5%의 경우 다이아몬드 peak는 거의 없으며 1580cm⁻¹ 근처에서 broad한 비다이아몬드 peak만 나

타나는 것을 볼 수 있다. 이는 5%에서는 다이아몬드 상은 미소하며 흑연이 주로 성장한 것으로 생각된다.

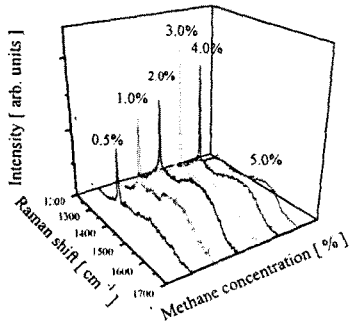


Fig. 2. Raman spectra showing the effect of methane concentration

3.2 산소첨가에 따른 변화

그림 3은 3% 메탄농도하에서 산소를 0~80%까지 변화시켰을 때 Raman분석의 FWHM과 다이아몬드 peak의 강도 I[diamond]대 비다이아몬드 peak의 강도 I[non-diamond]의 비 I[d]/I[nd]를 나타낸 것이다. FWHM은 5.5cm⁻¹에서 3.25cm⁻¹까지 현저하게 감소함을 알 수 있고 비 다이아몬드 성분은 점차 감소함을 알 수 있다. 특히 산소첨가에 따라 50%에서 다이아몬드 결정성이 훨씬 향상됨을 말해준다.

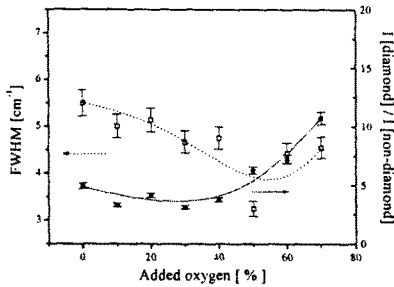


Fig. 3. Variation of FWHM and I[d]/I[nd] with oxygen concentration

그림 4는 성장속도의 변화를 나타낸 것이다. 산소의 첨가량이 증가함에 따라 성장속도는 단조 감소하였다. 산소의 첨가에 따른 성장속도의 감소는 기상에서의 활성종의 조성(C/H비율)을 변화시키에 의하여 원자상 수소의 비율이 높아짐에 따라 원자상 산소와 함께 비 다이아몬드 성분을 예칭하여 성장률이 점차 감소한다고 할 수 있으며, C-H-O계의 상태도에서도 산소량의 증가에 따른 석출된 고상의 분율은 점차 감소하여 일정조성이상에서는 현저히 감소하는 것으로 설명될 수 있다⁵⁾.

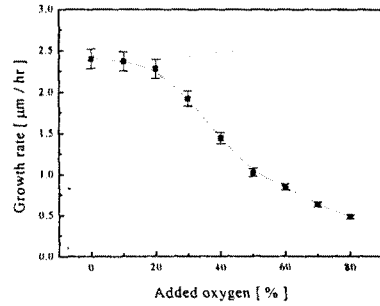


Fig. 4. Effect of the oxygen addition on the growth rate

3.3 반응압력에 따른 변화

그림 5는 Raman분석에서의 FWHM과 I[d]/I[nd]를 나타낸 것이다. 압력이 증가함에 따라 FWHM이 점차 줄어들음을 보여주며, I[d]/I[nd]값은 증가함을 보여주는데 이는 박막의 결정성이 증가하는 것을 나타낸다. 압력에 따라 결정성이 달라지는 이유는 동일한 유량조건에서 압력을 변화시키면 기체이동속도가 달라지는데, 이것이 활성종들의 생성속도에 영향을 준다. 즉 압력을 낮추면 기체의 이동속도가 빨라지므로 분해효율이 낮아져 다이아몬드 결정성에 참여하는 반응성이 매우 큰 라디칼 형태의 활성종들이 상대적으로 적게 형성되어 결정성이 나빠지며 압력을 높여 기체의 이동속도를 느리게 하면 분해효율이 높아져 활성종이 많이 형성되어 결정성이 향상되기 때문이다.

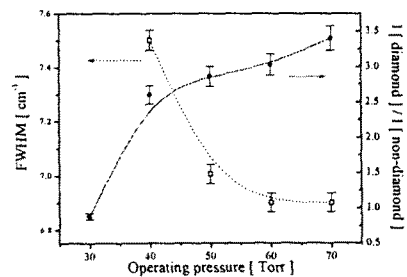


Fig. 5. Variation of FWHM and I[d]/I[nd] with operating pressure

그림 6은 박막의 성장률을 나타낸 것이다. 전반적으로 박막의 성장률이 증가하는 것은 50Torr까지는 압력이 증가함에 따라 플라즈마의 면적이 작아지고 작아진 만큼 플라즈마 밀도는 오히려 높게되어 활성종의 농도도 높아지기 때문에 성장속도는 증가하고 핵 발생 밀도가 증가하기 때문이라 생각하며, 60,70Torr에서 박막 성장률

의 증가폭이 둔화되는 것을 알 수 있는데 이것은 작아진 플라즈마에 의한 국부적인 온도상승과 국부적인 활성종의 집중으로 연속적인 다이아몬드 박막의 성장이 지체되어졌기 때문이라고 생각되어진다.

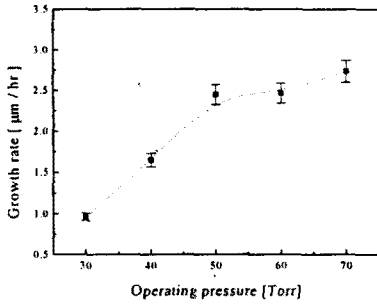


Fig. 6. Effect of operating pressure on the growth rate

4. 결 론

본 실험에서는 MWPCVD법을 이용하여 다이아몬드 박막을 합성하였으며, 각 변수의 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 메탄농도에 따른 변화로는 4%까지는 다이아몬드가 합성되었으며, 최적농도는 3%이었다.
- (2) 산소첨가량이 증가할수록 결정성이 증가하여 50% 첨가시 가장 결정성이 우수하였다.
- (3) 반응압력이 증가함에 따라 증착면적은 줄어들었으나 성장률은 전반적으로 증가하였다.

본 연구는 산업자원부 산업기술 기반조성사업을 통한 연구비 지원에 의해 수행되었음을 알립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. V. Spitsyn, L. L. Bouilov, and B. V. Derjaguin, *J. Crystal Growth* 52, 219 (1981)
- [2] S. Matsumoto, Y. Sato, M. Kamo, and N. Setaka, *Jpn. J. Appl. Phys.* 21, L183 (1982)
- [3] National Inst. for Res. in inorg. Mater., *Jap. Pat. Appl.*, Jp59137396, Aug. 7, (1984)
- [4] M. Kamo, Y. Sato and N. Setaka, *The Chemical Society of Japan*, No.10 1642 (1984)
- [5] 과거처 보고서 UCN714-4152-1 (1991)