

HFCVD에 의한 다이아몬드 박막 증착에 관한 실험적 연구

김영재* · 최만수** · 한동철***

(1997년 4월 9일 접수)

An Experimental Study of Hot Filament Chemical Vapor Deposition for Diamond Films

Youngjae Kim, Mansoo Choi and Dong-Chul Han

Key Words : HFCVD(Hot Filament Chemical Vapor Deposition), Diamond(다이아몬드), Thin Film Processing(박막제조공정)

Abstract

An experimental study of hot filament chemical vapor deposition (HFCVD) has been carried out for the fabrication of diamond thin film. Of particular interest is the measurement of deposition uniformity on large substrates. Experimental apparatus including a vacuum chamber, heating elements, etc. has been designed and manufactured. Deposition profiles for different pretreatment powders and different flow rates have been measured in conjunction with the measurement of substrate temperature distribution on a large substrate surface. As the flow rate increases, deposition rate increases, however, the crystallinity becomes worse. Higher growth rate has been found on the region closer to the center location where substrate temperature is higher. The crystallinity has been improved as gas flow rate decreases. The growth rate and morphology of deposition were identified by SEM and the existence of diamond phase was proved by Raman spectroscopy.

1. 서 론

과학 기술의 발전에 따라 초내열, 내마멸성의 물질, 극히 순수한 물질 등, 극한의 용도에 정확히 부합하는 물질이 점점 요구되고 있다. 특히 다이아몬드는 다양하고 복잡한 장점을 지니고 있으므로 박막 형태로 제조한다면 그 응용 범위가 대단히 넓다. 널리 알려진 것처럼 경도가 모든 물질 중에서

가장 크기 때문에 연마제나 절삭제로서 쓰이고, 내마모성이 우수하고 마찰 계수가 작아 베어링이나 절삭 공구 등에 피복하면 정밀성과 내마모성을 향상시킬 수 있다. 또한 열팽창 계수는 작으나 열전도도가 상온에서 구리의 약 5배이면서 절연성이 좋기 때문에 반도체 소자의 heat sink로써 응용될 수 있다. 그 자체는 절연체이지만 불순물(Boron 등)을 적절히 첨가하면 n형, p형의 반도체 기능을 발휘하여 실리콘을 대체할 수 있는 고열과 고전력에 견딜 수 있는 소자를 만들 수 있다.^(1,2)

본 연구에서는 HFCVD(hot filament chemical vapor deposition) 공정을 이용한 다이아몬드 박막

*서울대학교 대학원 기계공학과
**회원, 서울대학교 기계공학과
***회원, 서울대학교 기계설계학과

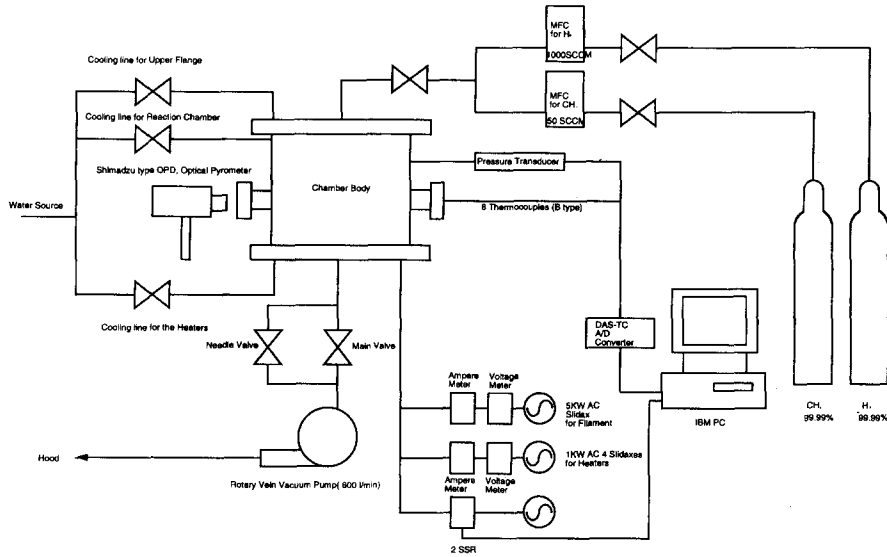


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

제조에 있어서 여러 공정조건이 대면적 기판에서 박막의 균일도에 어떠한 영향을 미치는가를 파악하고자 하였다. HFCVD 공정은 저압상태(약 10 torr)에서 메탄과 수소를 진공용기안으로 주입하고 진공용기안에 장치되어 있는 텅스텐 hot filament 주위를 기체가 지나면서 열해리되어 CH_3 , CH_2 등의 탄화수소 라디칼이 형성된다. 열해리된 탄화수소 라디칼(CH_3 , C_2H_2 , CH_2 등)이 600°C 이상으로 가열되어 있는 기판 표면에 증착되고, 증착된 탄화수소 라디칼이 기판표면에서 기상의 수소 원자와 반응하여 탄소만 기판에 남아 고체화하는데, 다이아몬드와 graphite 등 무정형 탄소 등이 함께 증착하게 된다. 현재 다이아몬드 박막 증착의 과제중의 관심의 대상은 대면적에 균일한 박막을 생성시키는 것이다. 과거의 화학 증착법에 대한 연구는 주로 재료의 특성 연구와 반응 메카니즘의 파악이 대부분이었지만 최근에 들어서 공정의 모델링이나 장치 설계 기술을 위한 화학 용기 내의 열 유동 및 물질 전달 해석과 실험에 대한 관심이 커지고 있다.⁽³⁾

기존 연구에서는 대부분의 경우, 기판의 표면온도를 조절 할 수 없도록 설계되어, 필라멘트의 영향으로 필라멘트 바로 아래 부분의 표면온도가 다른 부분의 온도보다 훨씬 높아지므로 증착의 구간이 제한될 수 밖에 없었다.^(4~7) 최근 대면적 증착을 얻으려는 방법으로 grid형태의 필라멘트를 사용

하거나 고증착률을 얻기 위해 고농도의 메탄 분율(2-10%)에서 고온의 필라멘트(2800°C)를 사용하는 연구가 수행되었다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 대면적 기판($30\text{ mm} \times 85\text{ mm}$)에서 박막의 증착 양상(균일성) 파악에 주안점을 두어 연구를 수행하였으며 기판의 온도 분포를 균일하게 하기 위하여 기판의 길이 방향으로 독립적으로 제어 가능한 8개의 히터를 사용하였다.

2. 실험 장치와 방법

2.1 실험 장치

Fig. 1에 실험 장치의 전체 개략도를 나타내었다. 수소와 메탄이 질량유량계(mass flow controller)를 통해 진공 챔버로 주입되고, 내부의 필라멘트와 히터는 전원 공급 장치에 의해 가열된다. 필라멘트에서 발산하는 열을 흡수하기 위해 진공 챔버는 물로 냉각시킨다.

실험에 사용한 필라멘트는 지름 0.5 mm, 전체 길이 40 cm의 텅스텐 단선이며 코일 부분의 길이는 35 mm로 하고 16회전을 하였다. 필라멘트는 상온에서 저항이 $0.3 \pm 0.1\Omega$ 이었으나 실험조건인 $1950 \pm 50^\circ\text{C}$ 에 이르면 약 45 V, 15 A가 사용되어 약 3.0Ω 정도가 나왔다. 진공 용기는 내부에서 발

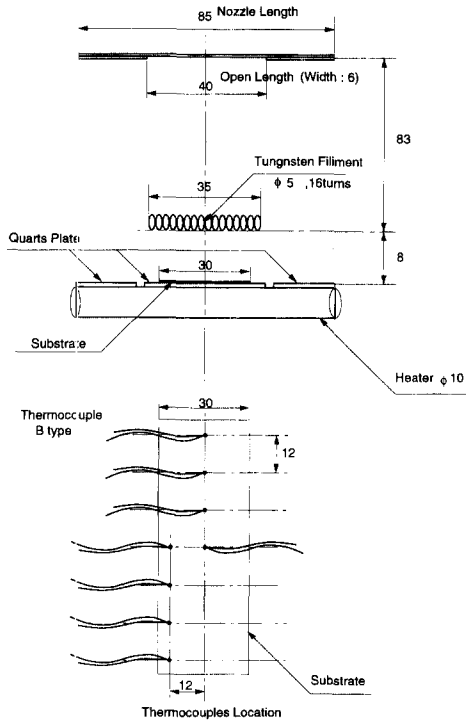


Fig. 2 Configuration of filament and heaters and thermocouples location.

생하는 열을 효과적으로 흡수하도록 이중 통으로 설계하여 수냉각을 하고, 노즐을 고정시키고 진공을 유지하는 O-ring 부분이 가열될 가능성이 있어 뒷판에 용접하여 고정시키고 뒷판 역시 수냉각을 하도록 하였다. 노즐의 길이 방향으로 균일한 유동이 주입될 수 있도록 Fig. 2에 나타난 바와 같이 6 mm×40 mm의 slot nozzle를 설계하였으며 텅스텐 필라멘트 위의 83 mm 지점에 위치하도록 하였다.

실리콘 웨이퍼를 올려놓는 히터 본체는 순철로 만들었다. 구리관으로 된 열교환기를 접촉시켜 수냉각을 함으로써 히터 본체의 과열을 방지하도록 하였다. 기판을 가열하는 방법은, 아르곤 가스로 밀봉한 텅스텐 히터(100 V, 500 W) 6개를 사용하여 필라멘트로부터 떨어진 위치에서도 기판을 가열하여 기판이 전체적으로 반응 온도 이상(약 600°C)을 유지하도록 하였다. 전원은 슬라이타스와 on-off 제어에 의한 SSR(Solid State Relay)를 사용하였다. 히터에 올려놓는 기판의 경우 8개의 B형 열전대(OMEGA Inc.)를 사용하여 온도를 측정하였다. 텅스텐 필라멘트의 온도는 광학 pyrometer

Table 1 Experimental Condition.

Parameters	Condition
Concentration of methane(%)	1.0
Filament temperature(°C)	1950±50
Surface temperature at the center of substrate(°C)	950±20
Total flow rate(SCCM)	200
Pressure(torr)	30±1.0
Distance between filament and substrate(mm)	8±1.0
Deposition time(hr)	5
SiC particles sizes(μm)	110, 64, 16
Diamond power size(μm)	45±5
Pretreatment time(hr)	2

(Shimadzu Type OPD, 측정 한도 2000°C)를 사용하여 측정하였으며 진공 용기의 압력의 측정은 측정 범위 0.5 torr-524 torr인 Sensotec Co.의 압력계를 사용하였고, 펌프의 메인 밸브 외에 bypass를 두어 니들 밸브로써 실험시 압력을 일정하게 유지하였다. 반응 용기의 압력은 기체의 유입과 유출의 평형에서 이루어지는데 유입량은 MKS Co.의 MFC(수소: 1000 sccm, 메탄: 50 sccm)에 의해 제어되어 고정된다. 펌프는 용량 600 l/min의 로터리 베인 mechanical 펌프만을 사용하며, 밀봉 상태에서 5×10^{-2} torr까지 낮출 수 있음을 확인하였다.

필라멘트가 처음에 포함하고 있는 불순물을 제거하기 위해서 수 시간의 aging이 필요하므로 별도의 튜브 형식의 용기를 제작하여 진공 상태에서 필라멘트를 가열하여 필라멘트 aging을 실시하였다. 약 4-5시간의 aging후 반응 용기 안에 장착하여 수소와 메탄을 기본 실험 조건(Table 1)에서 탄화를 시킨 결과 더 이상 불순물이 나오지 않는 것을 확인하였다.

2.2 실험 방법

실험은 기판의 전처리, 기판의 설치, 반응 가스의 유입과 반응 압력의 유지, 필라멘트와 히터 가열의 순서로 이루어진다. 상세한 방법은 다음과 같다.

실험에 사용하는 기판의 전처리는 실리콘 웨이퍼

(방위 (1, 0, 0), P-type)의 표면에 인위적인 결함을 만들어주는데 다이아몬드의 핵생성을 활성화시키는 것으로서 그 메커니즘에 대하여서는 아직 확실한 이론이 정립되어 있지 않으나 표면 결함으로 인한 표면에너지 상승으로 핵생성이 용이해 진다는 이론과 표면 결함을 유발할 때 탄소 원자가 기판에 부착됨으로서 핵으로 작용한다는 이론 등이 있다.^(8,9) 전처리를 위하여 SiC 분말과 다이아몬드 분말 등 두 가지를 사용하였다. 사용된 SiC 분말의 경우 입도별로 #220(110 μm), #400(64 μm), #1500(16 μm)을 사용하였으며 다이아몬드 분말은 General Electric Co. (USA)의 공업용 인조 다이아몬드 분말이며 입도는 $45 \pm 5 \mu\text{m}$ 이다. 기판의 전처리를 위하여 분말을 별도로 제작한 용기에 넣고 아세톤을 채운 후 2시간 동안 초음파 세척기 (ultrasonic cleaner)로 표면 연마를 하였다. 표면 연마가 끝난 기판은 HF 용액과 증류수를 1:1로 섞은 용액에서 30초 동안 처리한 후 증류수에 세척한 후 사용하였다.⁽⁸⁾

Aging을 마친 텅스텐 필라멘트를 진공 용기 내에 정착시키며 전원봉에 연결시킨다. 처음으로 정착된 필라멘트는 실험 조건하에서 탄화가 진행되면서 텅스텐 카바이드로 변하고 메탄의 분해물인 탄소를 흡수하고, 저항이 높아지기 때문에 필라멘트의 온도가 떨어진다.⁽¹⁾ 그러므로, 기판을 장치하지 않은 상태에서 4-5 시간 탄화를 실시해 더 이상 저항값이 변하지 않도록 한 후 실험을 시작하였다.

필라멘트와 기판을 설치한 후엔 용기를 밀봉시킨 다음, 진공 용기 내부를 수소로 purging하였다. 3-4 torr 정도로 수소를 채운 후 이것을 다시 진공으로 만드는 과정을 3번 이상 수행하여 순수한 수소 환경을 만들었다. Purging 후 수소를 실험 조건에 맞는 유량으로 MFC를 통해 보내고, 펌프로 통하는 메인 밸브를 닫아 목표 압력에 도달하면 니들 밸브로 실험 압력에 정확하게 고정시켰다.

압력이 고정되면 서서히 필라멘트에 전기를 흘려 가열하고 광학 pyrometer로 필라멘트의 온도를 확인한 후 히터의 전원을 슬라이드스와 SSR로 입력하여 기판을 원하는 온도에 맞춘다. 기판의 온도가 더 이상 변하지 않게 되면 메탄을 주입하여 증착을 시킨다.

실험이 완성된 후 기판을 진공용기내에서 꺼내어 생성된 입자 및 박막의 표면 형상을 SEM으로 촬영하였다. 기판으로 사용한 실리콘 기판이 전기 전

도도가 좋고, 박막의 두께가 얇아 SEM 촬영을 위한 금증착은 할 필요가 없었다. 결과 및 토의에서 설명할 SEM사진으로부터 표면의 작진 결정 모습을 볼 수 있으며 증착물이 다이아몬드인지 무정형 탄소인지를 구별할 수 있었고 같은 비율에서 입자가 전체 면적에서 차지하는 비율로 핵생성 밀도를 파악할 수 있었다. 박막의 두께는 파단면에서 측정하여 구하였다. 박막의 경우 요철은 거의 없었으나 입자 형태로 증착된 경우 평균값을 취하였다.

라만 분광 분석을 통하여 증착된 박막이 어느 정도 양질의 다이아몬드 박막인지를 파악하였다. 라만 분광 장치는 SPE \times 1403이며, 여기광은 Ar ion 레이저의 파장 514.5 nm를 사용하였다. sp^3 구조는 sp^2 다이아몬드 구조에 비해 50배 이상 분광 효율이 크다. 또한 sp^3 구조를 가진 순수한 다이아몬드 결정은 $1332 \pm 1 \text{cm}^{-1}$ 에서 longitudinal optical phonon (LO phonon)이라 불리는 정점이 나타나고,^(10,11) 무정형 탄소나 graphite 등은 sp^2 구조이므로 $1500 \sim 1600 \text{cm}^{-1}$ 에서 넓은 정점 영역을 보인다. 따라서 이러한 분석을 통하여 증착물이 다이아몬드인지, 무정형 탄소인지를 확인할 수 있으며 다이아몬드 상과 비다이아몬드 상의 상대적인 비율 측정할 수 있다.⁽²⁾

3. 결과 및 토의

본 연구에서는 HFCVD를 이용하여 대면적 기판에 다이아몬드 박막을 증착시켰으며 증착의 균일

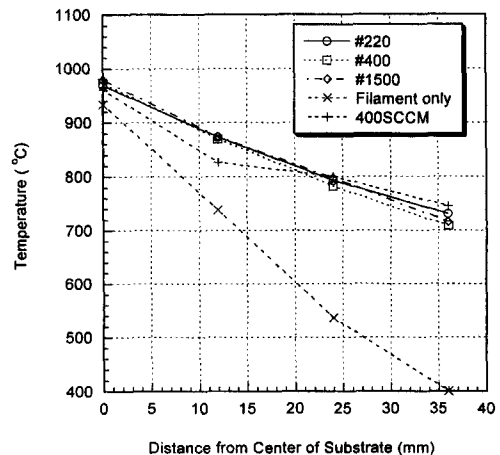


Fig. 3 Surface temperatures of the Si substrate along the center line.

도, 기판의 온도 분포, 증착률 등을 파악하였다. 전처리에 사용하는 연마제의 영향, 반응 가스의 유량의 영향, 온도 분포에 따른 증착 양상의 변화를 살펴보았다.

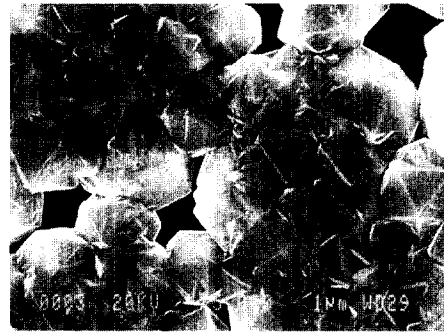
3.1 기판의 온도 분포

Fig. 3에 기판의 중심선을 따라 변화하는 온도의 분포를 나타내었다. 히터를 가동시키지 않고 필라멘트로부터의 열전달만으로도 중심(필라멘트 일부)에서는 950°C 정도(그림 3의×기호)를 얻을 수 있었으나 급격히 온도가 떨어져 약 15 mm를 벗어난 지점부터는 700°C 이하의 온도를 나타내고 있다. 낮은 온도에서는 핵생성 및 증착률이 저조하므로 필라멘트만 사용한 경우는 기판의 중심 근처에만 박막이 형성될 것으로 유추된다. 본 연구에서는 대면적에서 박막증착이 이루어질 수 있도록 기판가열용 히터를 사용하고 있어 그림 3에서 볼 수 있듯이 중심에서 36 mm 떨어진 위치에서도 700°C 이상의 기판온도를 유지할 수 있었다. 기호 ○, □, ◇는 연마제 입도가 다른 경우로 거의 같은 결과를 보여 주고 있으며 +는 표준상태(200 sccm)보다 많은 유량(400 sccm)을 주입한 경우로 중심에서 12 mm 떨어진 구간에서 약간 낮은 온도를 나타내고 있다. 이 경우 기판 바로 밑의 히터봉 2개는 가열을 하지 않았고, 나머지 4개의 히터봉으로 기판 전체의 온도를 700°C 이상으로 가열할 수 있었다. 기판의 중심선을 기준으로 중앙에서 최대 온도를 나타내며, 가장자리에서 최소 온도를 보이고 있다. 그 온도 차이는 200°C 정도였다. 온도를 보다 균일하게 하려 한다면 기판의 필라멘트 아래 부분만을 냉각할 수 있는 설계가 되어야 할 것이나 본 연구에서는 시도되지 않았다.

3.2 증착 모양 및 균일도

SiC 분말로 전처리를 한 경우 Fig. 4에 나타난 대로 island 식 증착이 이루어졌으며⁽⁹⁾ 이 경우 표면에 만들어진 핵이 서서히 성장하면서 이웃한 입자들이 붙으면서 박막이 형성된다. 중앙 부분에선 입자의 크기가 크고 결정성이 명확하게 드러나지만 가장자리로 갈수록 입자의 크기가 줄어들고 결정성이 나빠지는 것을 볼 수 있다.

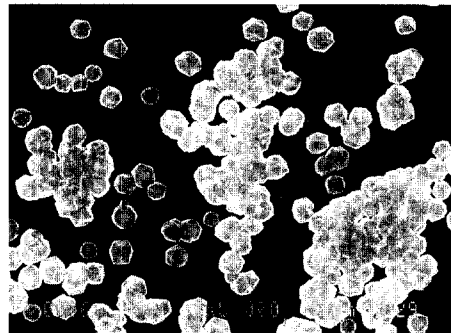
아직까지 핵생성에 관여하는 표면 결함의 명확한 메커니즘은 정립되지 않았으나 표면결함이 다이아몬드 결정성장에 유리한 장소로 작용한다는 설명과



0 mm from Center



12 mm from Center



24 mm from Center

Fig. 4 SEM micrograph of diamond deposition using #220 SiC power.

탄소 입자가 표면에 정착됨으로써 핵으로 작용한다는 두 가지 설명이 있다. 분말로 표면 처리를 한 경우 광학 현미경하에서 수많은 흠집을 볼 수 있는데 가는 사포(#1500)로 표면을 일부러 흠집을 내었을 경우엔 오히려 증착이 잘 되지 않았다. SiC 분말 이외에 다이아몬드 분말도 사용하였으며 이의 결과는 3.4에서 논의 될 것이다.

본 실험에서는 3가지의 다른 입도의 SiC 분말을

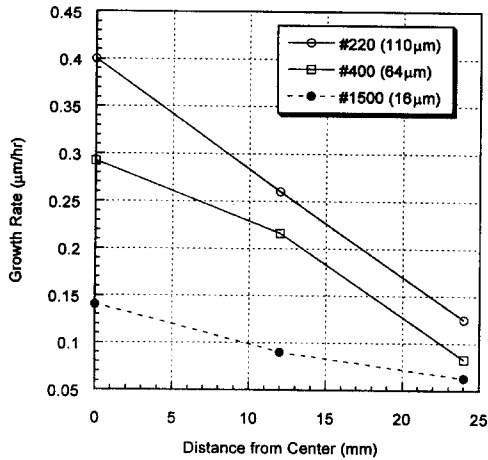
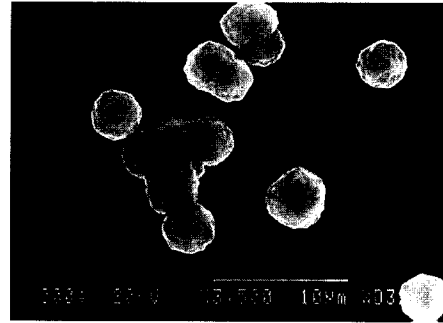


Fig. 5 Growth rate of diamond for different sizes of preagreement SiC powder.

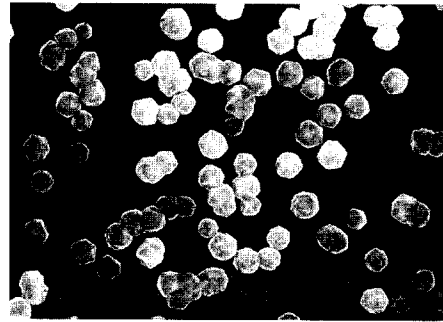
사용해 증착을 시켜 보았는데 SiC 분말의 입도가 클수록 핵생성 밀도가 기하 급수적으로 증가함을 볼 수 있었고, 결과적으로 증착률도 같은 위치에서 증가함을 볼 수 있었다(Fig. 5 참조). 입자의 크기가 작은 경우, 오랜 시간 동안 동일한 전처리를 하였을 때엔 큰 입자로 전처리를 하였을 때와 같은 핵생성 밀도를 가진다는 연구 결과에서 보듯이⁽⁸⁾ 핵생성 밀도는 입도가 커서 결합이 커짐에 따라 생성 밀도가 커진다고 하기보다는, 동일한 시간에 만들어낼 수 있는 결합의 수에 따라 결정 된다고 볼 수 있다.

기판의 온도 변화와 필라멘트로부터의 거리에 따른 증착 양상을 보면 거리에 따라 거의 선형적으로 증착률이 떨어짐을 볼 수 있다. 이것은 유동에 의한 영향과 온도 변화에 의한 영향이 복합적으로 연결된 결과라 할 수 있다. 기판의 온도가 900~1000°C의 영역에서는 표면 반응이 활발하게 일어나 증착률이 높아진 것으로 볼 수 있다. 또한 표면 반응의 일종인 수소 원자에 의한 식각 또한 잘 일어나므로 결정성이 좋아진 것으로도 설명할 수 있다. 그리고, 앞에서 설명한 것처럼 온도가 낮은 영역에서는 과포화도에 의한 확산의 영향보다는 표면 반응에 더 의존하게 되어⁽⁴⁾ 생성물과 결정성이 동시에 감소함을 알 수 있다.

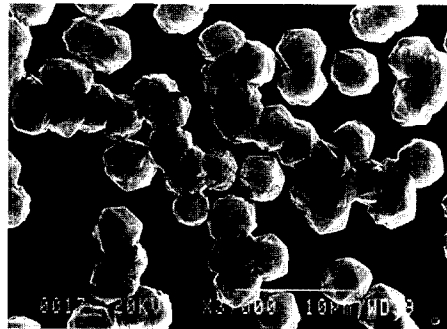
또한 이것은 필라멘트로부터의 거리가 멀어진다는 것으로도 설명할 수 있다. 필라멘트로부터 거리가 멀어진다는 것은 소멸 과정으로 인해 활성종의



0 mm from Center



12 mm from Center



24 mm from Center

Fig. 6 SEM micrograph of diamond deposition for 400sccm flow rate.

과포화도를 떨어뜨린 것으로 볼 수 있다. 즉 필라멘트-기판 거리가 멀어지면 각 활성종이 재결합이나 확산에 의해 소멸되어 증착 속도가 느려지게 되는 것이다.

3.3 기체 유량의 변화에 따른 증착 양상

기체의 유량을 400 sccm으로 증가시켰을 때, Fig. 6에서 보이듯 입자의 결정성은 현저히 감소해 거의 무정형 입자가 됨을 볼 수 있으며, 증착 속도

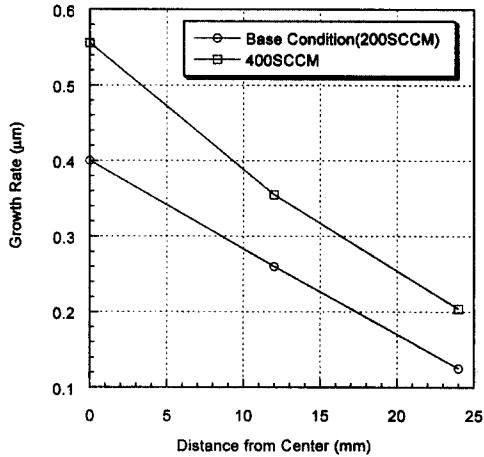


Fig. 7 Distribution of growth rate of diamond for different flow rates.

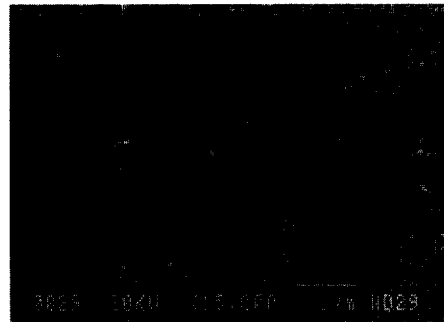
는 기판의 전체 면적에 걸쳐 선형적으로 증가하는 것을 볼 수 있다(Fig. 7). 다른 조건이 같은 상태에서 유량이 커졌다는 것은 해리될 수 있는 탄소 원자의 수가 늘어남과 동시에 필라멘트를 지나 기판에 도달하는 활성종의 속도가 증가함을 의미한다. 물론 속도가 증가됨으로 해리가 되는 양은 유량이 늘어남에 비례하여 증가한다고는 볼 수 없다. 왜냐하면 필라멘트를 지나가는 메탄 분자의 속도가 커져서 충분한 가열이 되지 않으므로 해리 되는 양이 감소될 수 있기 때문이다. 본 실험의 경우는 유량증가로 인하여 메탄의 열해리 양이 늘어나는 경향이 보다 우세하여 증착속도가 전체적으로 늘어났다고 설명할 수 있다. 그리고, 결정성도 비슷하게 설명될 수 있는데 식각 가능한 수소 원자의 양에 비해 메탄이 더 많이 분해되고 기판에 부착되어 결정성이 떨어진 것으로 볼 수 있다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 필라멘트에서 약간 떨어진 부분의 경우 온도가 떨어짐에도 불구하고 오히려 결정성이 좋아지는 경향을 발견할 수 있는데 이는 열분해된 탄소 원자가 필라멘트에서 떨어진 지역에서 다시 여러 층으로 재결합되면서 소멸되어 수소 원자가 처리 가능한 활성종의 비율이 중심 부분보다 증가될 수 있다는 사실로 설명될 수 있다.

3.4 다이아몬드 분말로 전처리할 경우의 증착

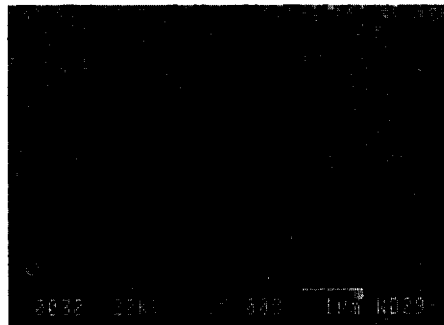
Fig. 8은 다이아몬드 분말로 전처리한 기판 위에 증착이 시작된 후 30분이 경과한 후의 증착사진인



0 mm from Center



12 mm from Center



24 mm from Center

Fig. 8 SEM micrograph of diamond deposition using diamond powder as a pretreatment power.

데, 이미 필라멘트 바로 아래에서는 박막 형태의 성장이 이루어졌음을 볼 수 있다. 필라멘트로부터 먼 부분의 경우에는 아직 막 형태가 완전히 되지는 않았지만 island식 증착이 아니고 얇은 막으로부터 성장한다는 것을 보여 주고 있다. 이는 핵생성이 막이 이루어질 정도로 충분히 되었음을 의미하는데 다이아몬드 분말로 전처리를 했을 때 이런 현상이 일어난 것은 다이아몬드와 유사한 모습의 표면 결

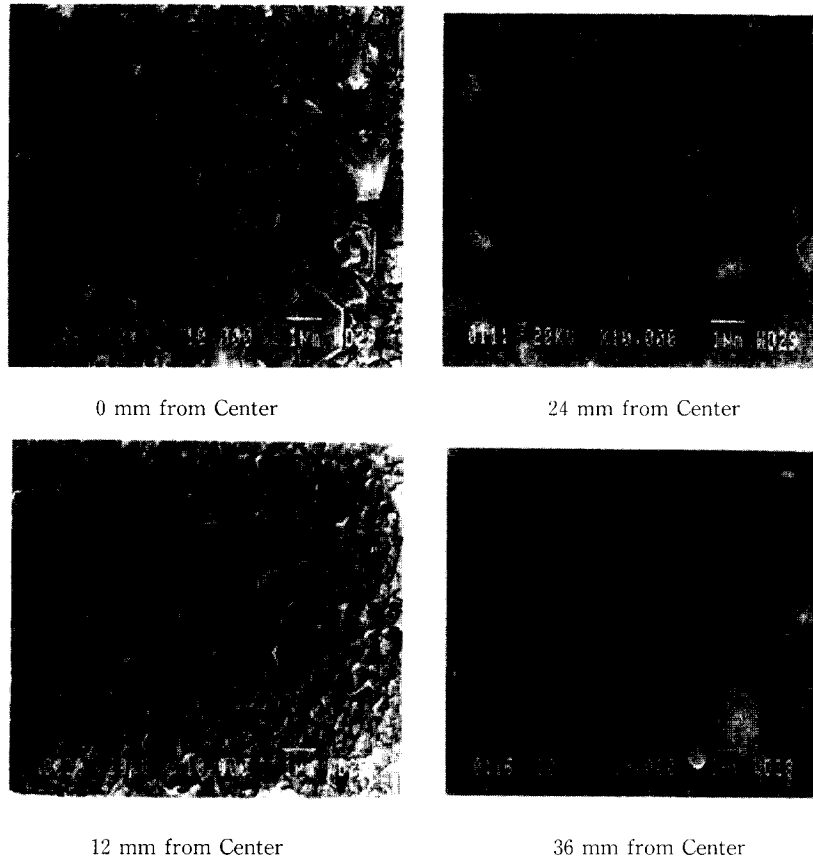


Fig. 9 SEM micrograph of different locations using diamond powder as a pretreatment power.

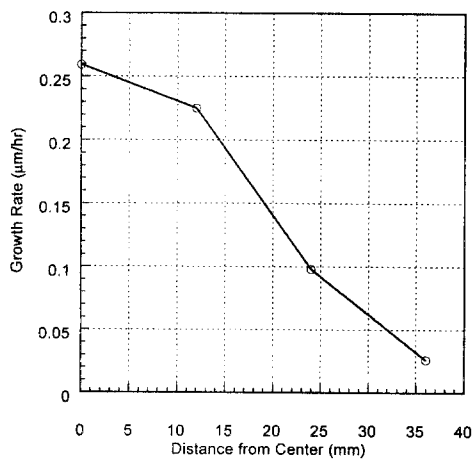


Fig. 10 Distribution of growth rate of diamond using diamond powder as a pretreatment power.

함이 핵생성에 유리하다는 것을 말해주고 있다.⁽⁶⁾ 물론 이것은 탄소 원자의 seeding에 의한 것이라고 볼 수 있지만 SiC 분말 역시 탄소를 포함하고 있고, 두 경우 모두 충분한 전처리 시간을 두었으므로 분말이 기관에 충돌한 정도는 비슷할 것으로 추측되므로 다이아몬드 결정에 유사한 결함으로 설명하는 것이 보다 타당하다고 사려된다. 다시 말하면 다이아몬드 입자로 전처리를 하는 경우 다른 연마제로 전처리를 했을 때보다 훨씬 높은 핵생성 밀도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

위치에 따른 증착 양상을 Fig. 9~10에 나타내었다. 전체적인 증착 분포는 SiC 분말로 전처리했을 때와 커다란 차이를 보이지 않는다. 온도가 높고 필라멘트에 가까운 위치에서는 결정성도 좋고 증착 속도가 빠르며 온도가 낮고 필라멘트에서 먼 곳일수록 결정성과 증착 속도가 떨어짐을 알 수 있다.

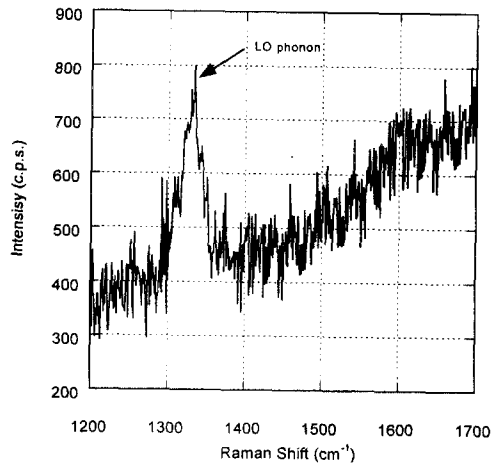


Fig. 11 Raman spectroscopy at center region.

그리고, 표면에서 다른 입자들에 비해 커다란 결정들이 보이고 있는데 이는 전처리시의 다이아몬드 분말 중에 입도가 아주 작은 입자가 seeding이 되어, 그 표면에서 실리콘 기판 표면보다는 초기에 증착이 잘 이루어짐으로써 다른 부분에 비해 빠른 성장이 된 결정으로 볼 수 있다.

Fig. 11은 기판의 중심 부분에서 수행한 라만 분광 분석의 결과이다. 1330 cm^{-1} 부근에서 정점이 나타남으로써 다이아몬드상의 존재를 확인할 수 있으며 1500 cm^{-1} 이상의 신호로부터 graphite도 함께 섞여 있다는 사실을 알 수 있다.

4. 결 론

본 실험에서는 각각의 실험 인자를 독립적으로 변화시킬 수 있는 HFCVD장치를 설계, 제작하였으며 특히 기판 가열 히터를 장착하여 대면적 기판에서 박막의 형성을 시도하였으며 기판의 전면적에 걸쳐 다이아몬드가 증착됨을 확인하였다. 기판의 온도 분포의 측정, 연마제와 유량의 변화에 따른 다이아몬드 박막의 증착 양상을 살펴보았으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다이아몬드 분말을 전처리 입자로 사용하였을 경우 핵생성 밀도를 현저히 높임으로써 증착이 가능한 온도 범위에서 대면적 기판의 전면적에 걸쳐 박막을 이룰 수 있었으나 SiC 분말의 경우 완전한 박막을 이루지 못하고 island식 입자형태의 성장이 이루어졌다.

(2) 다이아몬드 박막의 증착률은 필라멘트에서 멀어질수록 거의 직선적으로 감소한다. 그리고 기판의 온도가 낮은 영역에서는 증착률이 낮아지고 결정성 역시 감소한다.

(3) 유량이 커질수록 다이아몬드 박막의 증착률은 증가하나 결정성은 떨어진다. 이 경우 필라멘트에서 멀리 떨어진 지역에서 증착률은 기판의 중심 부근보다 감소하였으나 오히려 결정성은 좋아진다는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육부 학술 연구조성비(기계공학분야, ME 95-A-03)의 지원에 의해 이루어졌음을 밝힌다.

참고문헌

- (1) Davis, R. F., 1992, "Diamond Films and Coatings: Development, Properties, and Applications," NOYES PUBLICATIONS.
- (2) Spear, K. E., 1989, "Diamond-Ceramic Coating of the Future," *J. Am. Ceram. Soc.*, 72, 171.
- (3) Wu, C. H., Tamor, M. A., Potter, T. J., Kaiser, E. W., 1990, "A Study of Gas Chemistry during Hot-Filament Vapor Deposition of Diamond Films using Methane/Hydrogen and Acetylene/Hydrogen Gas Mixtures," *J. Appl. Phys.*, 68, 4825.
- (4) Kwan, D. W., Lee, J. Y., 1991, "The Growth Kinetics of Diamond Films Deposited by Hot-Filament Chemical Vapor Deposition," *J. Appl. Phys.*, 69, 8328.
- (5) DevRoy, T., Tankala, K., Yarbrough, W. A., Messier, R., 1990, "Role of Heat Transfer and Fluid Flow in the Chemical Vapor Deposition of Diamond," *J. Appl. Phys.*, 68, 2424.
- (6) Harris, S. J., Weiner, A. M., 1991, "Filament-Assisted Diamond Growth Kinetics," *J. Appl. Phys.*, 70, 1385.
- (7) Li, D. M., Mantyla, T., Hernberg, R., Levoska, J., 1996, "Diamond Deposition by coiled and Grid Filament using High Methane Concentrations," *Diamond and Related Materials*, 5, 350.
- (8) 윤원수, 1992, "HFCVD에 의한 다이아몬드

- 박막의 기상 증착에 관한 연구,” 서울대학교 석사 학위 논문.
- (9) 서문규, 1992, “Hot Filament-Assisted CVD에 의한 다이아몬드 합성에서 과포화도가 증착속도 및 결정성에 미치는 영향”, 서울대학교 공학박사학위 논문.
- (10) S. A. Solin and A. K. Ramdas, 1970, “Raman Spectrum of Diamond,” *Physical Review B*, 1, 1687.
- (11) C. Kittel, 1991, *Introduction to Solid State Physics*, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., 88.