

# RF PACVD에 의한 초경합금상에 다이아몬드 박막의 합성

論 文  
49C-11-2

## Synthesis of Diamond Thin Film on WC-Co by RF PACVD

金 大 一<sup>\*</sup> · 李 常 熙<sup>\*\*</sup> · 朴 球 範<sup>\*\*\*</sup> · 朴 相 鉉<sup>§</sup> · 李 龍 根<sup>§§</sup> · 金 輔 烈<sup>§§§</sup> · 金 永 鳳<sup>§§§</sup> · 李 德 出<sup>#</sup>  
(Dae-Il Kim · Sanghee Lee · Gu-Bum Park · Sang-Hyun Park ·  
Yong-Geun Lee · Bo-Youl Kim · Young-Bong Kim · Duck-Chool Lee)

**Abstract** - Diamond thin films were synthesized on WC-Co substrate at various experimental parameters using 13.56MHz RF PACVD(radio frequency plasma-assisted chemical vapor deposition). In order to increase the nucleation density, the WC-Co substrate was polished with 3 $\mu$ m diamond paste. And the WC-Co substrate was pretreated in HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O = 1:1 and O<sub>2</sub> plasma. In H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> gas mixture, the crystallinity of thin film increased with decreasing CH<sub>4</sub> concentration at 800W discharge power and 20torr reaction pressure. In H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture, the crystallinity of thin film increased with increasing O<sub>2</sub> concentration at 800W discharge power, 20torr reaction pressure and 4% CH<sub>4</sub> concentration.

**Key Words** : Diamond thin film, RF PACVD, WC-Co

### 1. 서 론

지구상에서 가장 단단한 물질로 알려진 다이아몬드는 그 우수한 성질로 오래 전부터 여러 분야에 공업적 용도로서의 응용이 연구되어져 왔다. 다이아몬드가 갖고 있는 특성으로는 높은 경도, 높은 열전도도, 내화학성, 높은 전기 저항성과 도핑에 의한 반도체성, 그리고 가시광선에서 적외선에 이르는 넓은 광 투과성을 들 수 있다. 이러한 여러 특성에도 불구하고 다이아몬드의 수량적 또는 형태적 제한과 인조합성의 어려움으로 인해 공업적 이용은 극히 제한되었었다[1].

여러 응용분야 중 가장 발달된 분야는 높은 경도를 이용한 공구분야이다. 현재 사용되고 있는 절삭공구는 천연 다이아몬드 또는 합성 다이아몬드를 금속에 부착시킨 것으로, 1970년대 초반부터 이러한 방법에 의한 PCD(Poly-Crystalline Diamond) 팁 인서트가 사용되어져 왔다. 이 PCD 팁 인서트는 천연 다이아몬드 또는 HTHP법을 이용하여 다이아몬드 입자들을 만든 다음 약 95% 다이아몬드와 5% 코발트로 결합된 다이아몬드 판을 만들고, 이것을 초경합금(WC-Co) 디스크에 결합시킨 후 다시 HTHP공정을 적

용해 압축 소결하여 제작한다[2]. 그러나, PCD는 함유된 코발트의 영향으로 인해 파쇄면의 거칠기가 CVD 다이아몬드나 단결정 다이아몬드보다 매우 크고, 코발트가 약 700 $^{\circ}$ C 이상의 온도에서 다이아몬드를 흑연으로 변화시키는데 촉매역할을 하기 때문에 절삭시 국부적인 고온으로 인하여 내마모 특성의 급격한 저하를 초래한다[3]. 반면 CVD 다이아몬드 박막이나 박판(sheet)은 입자 크기를 조절할 수 있고, 작은 입자나 큰 입자가 서로 비슷한 내마모 특성을 보이는 장점이 있다. 하지만, 초경합금 기판에 합성된 다이아몬드 박막은 부착력이 낮으며, 이를 개선하기 위해 전처리나 표층의 코발트 제거, 기판재질의 검토에 관한 연구가 행해지고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 합성된 다이아몬드 박막내에 불순물이 거의 없고 부하코일의 반경을 넓힘으로서 대면적 코팅이 가능하다는 장점을 가진 RF PACVD법을 이용하여 양질의 다이아몬드 박막을 합성하고자 시판되고 있는 초경합금(WC-Co)을 기판으로 사용하여 H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> 및 H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>계로부터 여러 가지의 전처리와 실험변수들을 변화시키며 다이아몬드 박막을 합성하고 합성된 막을 평가하였다.

### 2. 실 험

다이아몬드 박막의 합성을 위한 전원으로는 13.56MHz RF 전원공급장치를 사용하였고, 부하코일에 진공 콘덴서를 연결하여 임피던스 매칭을 맞추었다[4]. 부하코일은 직경 6mm의 구리관으로 내경 40mm가 되도록 9회 감아 사용하였으며, 반응관으로는 직경 30mm, 길이 450mm의 석영관을 사용하였고 기판 지지대 역시 석영을 사용하였다.

가스로는 수소, 메탄, 산소를 사용하였으며, 반응관에 유

\* 準 會 員 : LG 生 産 技 術 院 研 究 員  
\*\* 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 電 氣 工 學 科 工 博  
\*\*\* 正 會 員 : 柳 韓 大 電 氣 科 副 教 授 · 工 博  
§ 正 會 員 : 慶 南 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博  
§§ 正 會 員 : 仁 荷 工 業 專 門 大 電 氣 科 助 教 授 · 工 博  
§§§ 正 會 員 : 仁 荷 工 業 專 門 大 電 氣 科 教 授  
# 正 會 員 : 仁 荷 大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博  
接受日字 : 2000年 5月 9日  
最終完了 : 2000年 10月 30日

입되는 가스의 유량은 가스 유량 조절계(MFC)를 사용하여 조절하였다. 기판의 가열은 별도의 가열장비 없이 플라즈마에 의해서만 가열되었다.

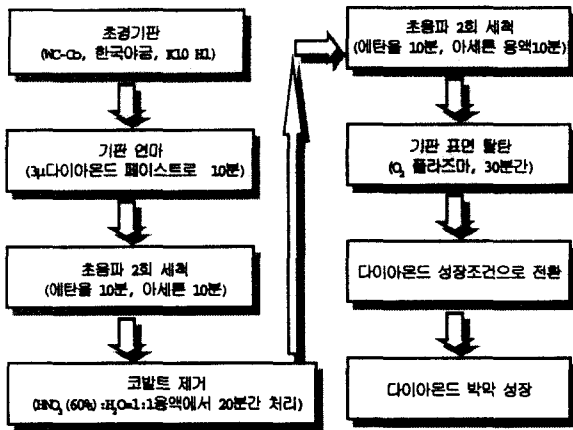


그림 1. 실험 개략도  
Fig. 1. Schematic diagram of experiment process

본 실험의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 기판으로는 시중에 판매되고 있는 초경기판(WC-Co, 한국 야금 K10 H1)을 사용하였다. 먼저 초경합금을 3 $\mu$ m 다이아몬드 페이스트로 10분간 연마하여 표면에 미세한 홈집을 내고 잔여 이물질 제거를 위해 초음파 세척기를 이용해 에탄올 용액 및 아세톤 용액에서 각각 10분간 세척하였다. 세척 처리 후 기판 표면에 함유된 코발트 성분을 제거하기 위해 HNO<sub>3</sub> : H<sub>2</sub>O = 1 : 1 용액에서 20분간 처리하고, 위와 같은 초음파 처리 과정을 통해 다시 세척한 후 기판으로 사용하였다.

합성된 다이아몬드 박막은 SEM(Scanning Electron Microscopy), XRD(X-ray Diffractometer) 및 라만 분광기(Raman Spectroscopy)을 이용하여 평가하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 기판의 전처리

여러 연구자들에 의해 바이어스 인가, 탈탄등과 같은 기판 전처리와 카바이드 중간층(carbide interlayer)의 형성을 촉진시킬 수 있는 성장변수가 다이아몬드의 핵 생성 밀도를 높이고, 초기 배양시간(incubation period)을 줄이는 것으로 나타났다[5]. 따라서, 새로운 텅스텐 카바이드의 생성과 다이아몬드의 성장을 위한 전처리로 초경합금에 존재하는 탄소를 산소 플라즈마 처리를 행하여 제거하였다.

그림 2는 질산 처리한 초경합금 기판을 반응관내의 압력 20torr, 수소 50sccm, 산소 5sccm으로 고정시키고, 방전전력을 변화시키면서 30분간 산소 플라즈마 처리한 초경합금의 X-선 회절분석 결과이다.

방전전력 500W에서는 질산 처리한 시료의 X-선 회절분석 결과와 비교할 때 소폭의 텅스텐 카바이드(WC)의 피크 강도가 줄었을 뿐 거의 유사하다. 그러나, 방전전력 600W와 700W에서 처리한 시료는 텅스텐 카바이드(WC)의 피크강도가 급격히 줄어들었으며, 방전전력 800W에서는 텅스텐 카

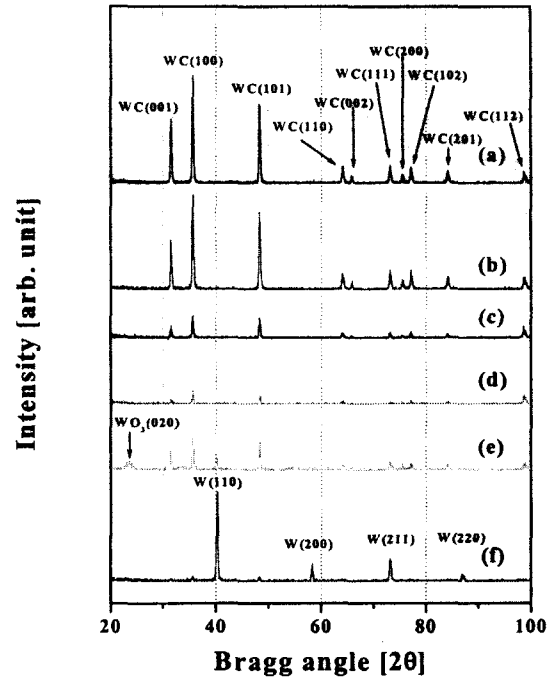


그림 2. 방전전력을 변화시키며 O<sub>2</sub> 플라즈마로 처리한 초경합금의 XRD 패턴  
(a:초경합금, b:500W, c:600W, d:700W, e:800W, f:900W)  
Fig. 2. XRD patterns of tungsten carbide treated by O<sub>2</sub> plasma at various discharge power  
(a:WC-Co, b:500W, c:600W, d:700W, e:800W, f:900W)

바이드 피크는 다소 증가함과 동시에 텅스텐과 산소가 결합한 산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>)의 피크도 나타났다. 방전전력 900W에서는 텅스텐 카바이드(WC)의 피크는 거의 보이지 않고 텅스텐(W) 피크의 강도가 현저히 증가하였다.

산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>)은 금속 텅스텐을 산소 중에서 충분히 가열할 때 생성되며, 대기 중에서는 안정하지만 수소와 반응하여 W<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 W<sub>4</sub>O<sub>11</sub>을 거쳐 다시 텅스텐(W)으로 환원한다.

따라서, 방전전력 800W에서의 산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>) 피크는 산소 플라즈마의 에너지와 가열된 기판온도의 영향으로 인해 텅스텐(W)과 산소가 반응하여 산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>)이 생성되고 방전전력이 증가함에 따라 수소와의 반응으로 인해 환원되어 텅스텐(W)피크가 증가하고 산화 텅스텐(WO<sub>3</sub>)피크는 사라진 것으로 생각된다. 또한 방전전력의 증가에 의해 산소 플라즈마의 에너지가 증가하면서 산소의 강한 탄소 에칭 작용으로 인해 텅스텐 카바이드(WC)의 강도가 줄어들면서 텅스텐(W)피크가 증가한 것으로 생각된다. 따라서, 산소 플라즈마에 의한 탈탄 처리는 방전 전력이 높을수록 큰 효과가 있었다.

#### 3.2 메탄농도에 따른 변화

그림 3은 방전전력 900W에서 전처리한 텅스텐 카바이드(WC-Co)기판 위에 수소 50sccm, 압력 20torr, 방전 전력

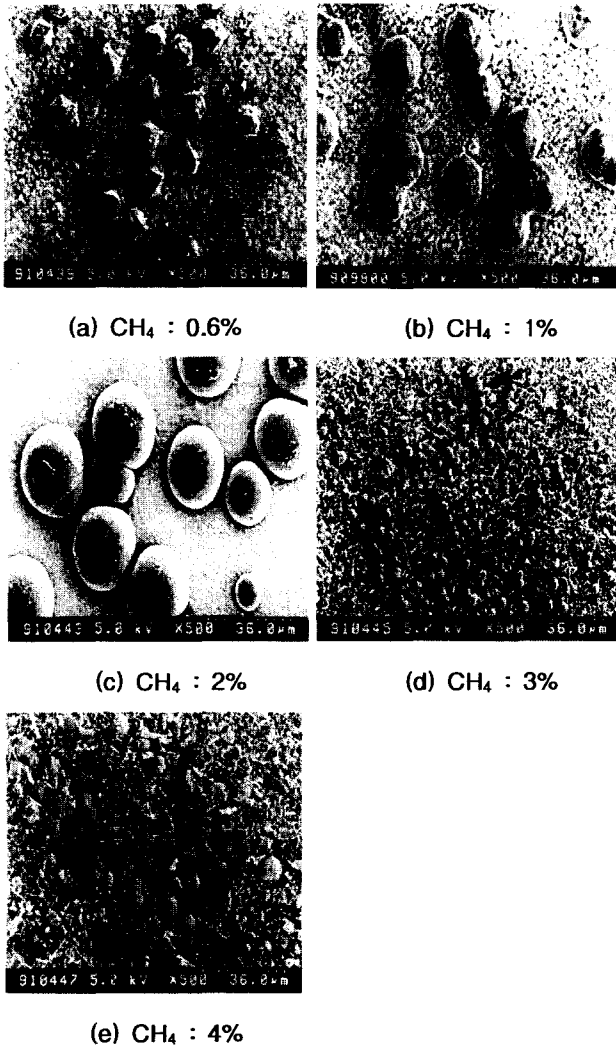


그림 3. H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>계에서 메탄농도 변화에 대한 박막의 SEM 형상  
 Fig. 3. SEM images of thin film at various CH<sub>4</sub> : H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> gas mixture

800W로 고정시키고 수소에 대한 메탄 농도를 변화시키면서 30시간 동안 제작한 다이아몬드 박막을 주사전자 현미경으로 측정한 결과이고, 그림 4는 각 시료의 X-선 회절분석 결과이다. 방전전력 800W에서의 기판온도는 약 786℃ 였다.

메탄농도 0.6%인 시료에서는 5겹 대칭(five-fold symmetry)의 다면체 결정들과 함께 표면에 2차 성장한 입자들이 나타났으며, X-선 회절분석 결과에서는 다이아몬드 (111), (220) 및 (311)면에 해당되는 피크들과 표면 텅스텐(W)과 탄소가 결합해 생긴 텅스텐 카바이드 피크들도 나타났다. 메탄농도가 증가함에 따라 다이아몬드 입자는 입자표면의 2차 성장과 비정질 탄소의 영향으로 보이는 구형 입자(ball-like diamond)의 형태를 나타내었으며, 다이아몬드의 피크는 감소하는 경향을 보였다. 메탄농도 3% 및 4%에서는 결정성 흑연 입자들과 비정질 흑연으로 생각되는 막으로 덮여 있음을 볼 수 있으며, X-선 회절에서도 흑연 피크가 우

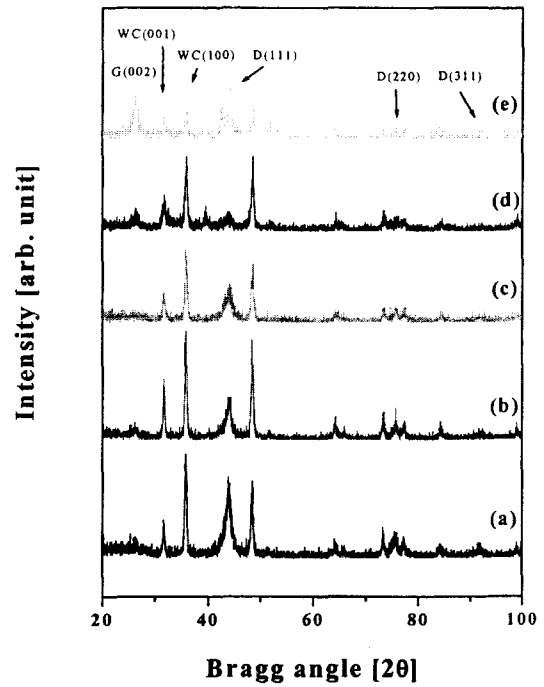


그림 4. H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>계에서 메탄농도 변화에 대한 박막의 XRD 패턴 (a:0.6%, b:1%, c:2%, d:3%, e:4%)  
 Fig. 4. XRD patterns of thin film at various CH<sub>4</sub> : H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> gas mixture (a:0.6%, b:1%, c:2%, d:3%, e:4%)

세하게 관측되었다.

다이아몬드 합성에서 수소의 역할은 메탄 분자를 해리시켜 다이아몬드 활성종인 메틸계 탄화수소를 생성시키고, 비정질 탄소와 흑연을 에칭하는 역할을 한다. 따라서, 메탄농도의 증가에 따라 반응관 내에 수소의 함량이 메탄에 비해 상대적으로 줄어들고, 이로 인해 메탄 분자를 해리시킬 수 있는 수소의 양이 줄어들며 해리 에너지가 낮은 흑연의 활성종인 아세틸렌계 탄화수소가 우세하게 생성되어 흑연의 성장이 우세하게 나타나는 것으로 생각되어진다. 또한, 성장하는 다이아몬드 표면의 탄소원자가 자유결합(free bond) 상태로 존재하면 에너지적으로 불안정해 표면에서 재배열이 발생하여 표면이 다이아몬드 구조에서 흑연으로 변태하는 흑연화가 일어나는 것으로 알려져 있다. 그런데 수소원자가 존재할 때에는 표면에서 쉽게 C-H 결합이 형성되어 표면을 안정화시키기 때문에 흑연화를 억제하여 다이아몬드의 계속적인 성장을 용이하게 한다. 따라서, 원자상 수소의 감소는 다이아몬드 표면의 hydrogen termination 수의 감소를 일으켜 흑연의 형성을 촉진하는 것으로 생각된다.

그림 5에 흑연 생성이 적은 낮은 메탄농도에서의 라만 분광분석 결과를 나타내었다.

0.6%의 메탄농도에서는 1332cm<sup>-1</sup>에서 피크가 관측되었으나, 1%와 2%의 메탄농도에서는 약 1348cm<sup>-1</sup>에서 피크가 관측되었다. 이는 0.6%의 낮은 메탄농도에서는 다이아몬드가

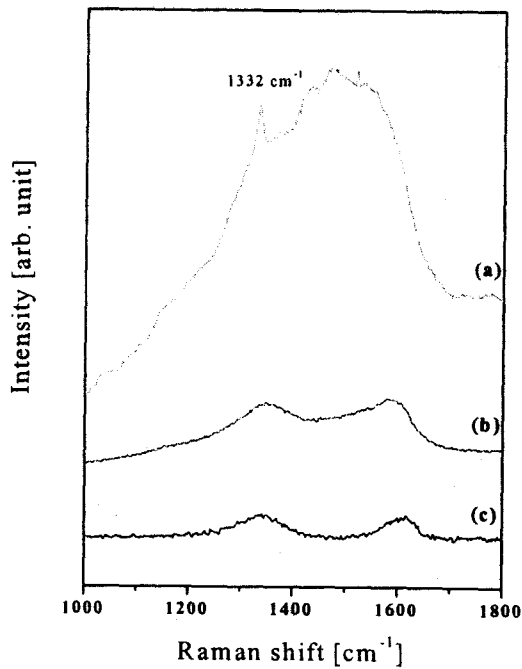


그림 5. H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>계에서 메탄농도 변화에 대한 박막의 Raman 스펙트라 (a:0.6%, b:1%, c:2%)

Fig. 5. Raman spectra of thin film at various CH<sub>4</sub> : H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> gas mixture (a:0.6%, b:1%, c:2%)

형성되지만, 메탄의 농도가 증가함에 따라서 다이아몬드보다는 흑연의 성장이 우세하기 때문인 것으로 생각되어진다. 또한, 1580cm<sup>-1</sup>부근의 브로드한 피크로 보아 다이아몬드 입자 내에 다량의 비정질 및 결정질 탄소가 함유된 것으로 생각된다.

### 3.3 산소농도에 따른 변화

그림 6은 방전전력 900W에서 전처리 된 텅스텐 카바이드(WC-Co)기판 위에 수소 50 sccm, 메탄 4%, 압력 20torr, 방전전력 800W로 고정시키고 수소에 대한 산소 농도를 변화시키면서 30시간동안 제작한 다이아몬드 박막을 주사전자현미경으로 측정한 결과이다. 방전전력 800W에서의 기판온도는 약 786℃였다.

다량의 흑연이 존재함에도 불구하고 메탄의 농도를 4%로 높게 고정 한 이유는 산소 첨가의 영향과 기판표면 전체의 균일한 막의 형성을 고려했기 때문이다.

높은 메탄농도에서도 산소의 비정질 탄소 에칭작용으로 인해 구형의 다이아몬드 입자가 형성되었다. 산소농도 0.2%의 시료에서는 구형의 입자가 형성되었으며, 산소농도 0.6%와 1%의 시료는 산소의 에칭작용으로 인해 표면이 약간 거친 입자들이 형성되었으며, 1.4%의 시료에서는 다이아몬드 입자까지 에칭되어 입자의 크기가 줄어들었다.

그림 7은 각 시료의 X-선 회절분석 결과이다. X-선 회절분석 결과 또한 산소농도가 증가함에 따라 다이아몬드 피크

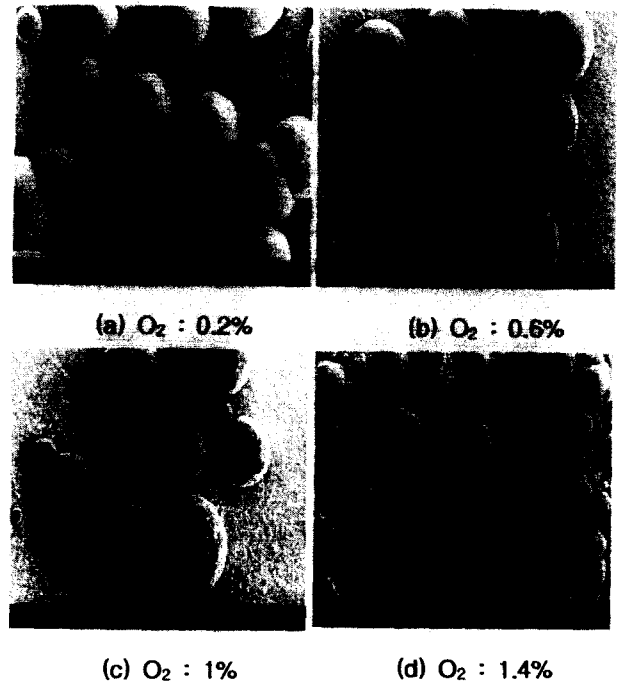


그림 6. H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>계에서 산소농도 변화에 대한 박막의 SEM 형상

Fig. 6. SEM images of thin film at various O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture

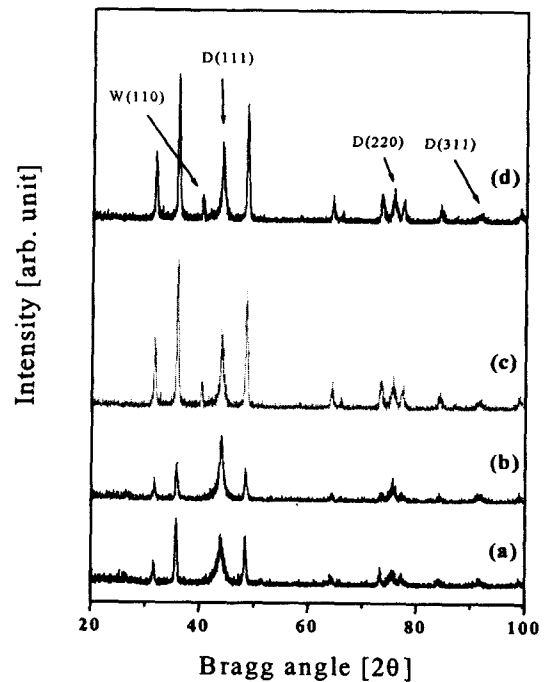


그림 7. H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub>계에서 산소농도 변화에 대한 박막의 XRD 패턴 (a:0.2%, b:0.6%, c:1%, d:1.4%)

Fig. 7. XRD patterns of thin film at various O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture (a:0.2%, b:0.6%, c:1%, d:1.4%)

도 증가하였지만, 산소농도 1%부터는 산소가 텅스텐 카바이드에서 탄소를 제거하여 생기는 텅스텐 피크도 다시 나타났다.

그림 8은 위의 시료들에 대한 라만 분광분석 결과이다. 소량의 산소첨가로 높은 메탄농도에서도 다이아몬드가 생성되었다. 산소농도 0.2%에서는 산소농도가 적어 낮은 메탄농도에서의 라만 분광분석 결과와 유사한 경향을 보였지만, 산소농도 0.6%에서는 침예한 다이아몬드 피크가 관찰되었다. 하지만 산소농도 1%부터는 피크가 완만해졌으며, 모든 시료에서 나타난  $1580\text{cm}^{-1}$ 부근의 broad한 피크로 보아 모든 시료내에 비정질 탄소가 함유되어 있음을 알 수 있었다.

산소농도 첨가의 실험 중 산소농도가 0.6%일 때 가장 질이 좋은 다이아몬드가 생성되었으나, 기관표면을 균일하게 피복하지는 못했다.

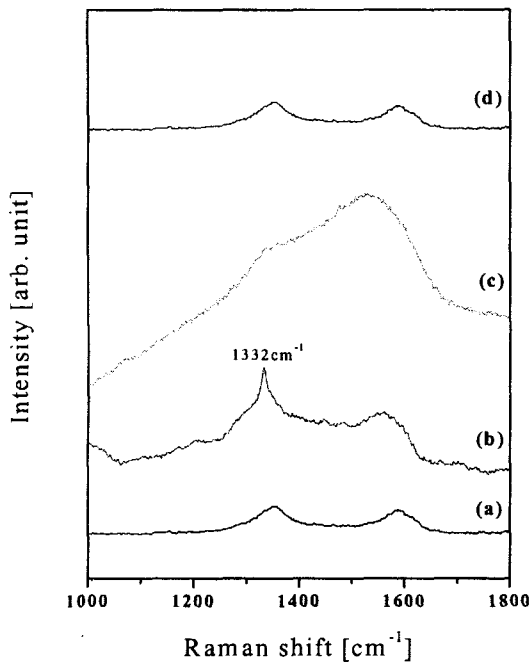
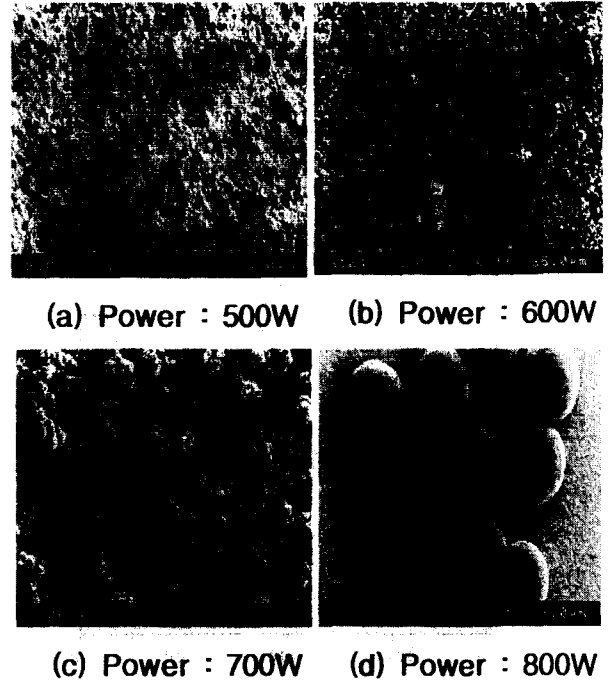


그림 8.  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$ 계에서 산소농도 변화에 대한 박막의 Raman 스펙트라 (a:0.2%, b:0.6%, c:1%, d:1.4%)  
 Fig. 8. Raman spectra of thin film at various  $\text{O}_2 : \text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$  gas mixture (a:0.2%, b:0.6%, c:1%, d:1.4%)

### 3.4 방전전력에 따른 변화

그림 9는 수소 50 sccm, 메탄 4%, 산소 0.6%, 압력 20torr, 방전전력 800W로 고정시키고 방전전력을 변화시키면서 30시간동안 제작한 다이아몬드 막을 주사전자 현미경으로 측정한 결과이고, 그림 10은 각 시료의 X-선 회절분석 결과이다. 본 실험장치는 별도의 기관 가열원이 없으며 플라즈마에 의해서만 기관온도가 상승하므로 전력의 변화는 곧 기관온도의 변화이며, 이때 기관온도는 500W에서 약  $604^\circ\text{C}$ , 600W에서 약  $651^\circ\text{C}$ , 700W에서 약  $724^\circ\text{C}$ , 800W에서 약  $786^\circ\text{C}$ 였다.



(a) Power : 500W (b) Power : 600W  
 (c) Power : 700W (d) Power : 800W  
 그림 9.  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$ 계에서 방전전력 변화에 대한 박막의 SEM 형상  
 Fig. 9. SEM images of thin film at various  $\text{O}_2 : \text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$  gas mixture

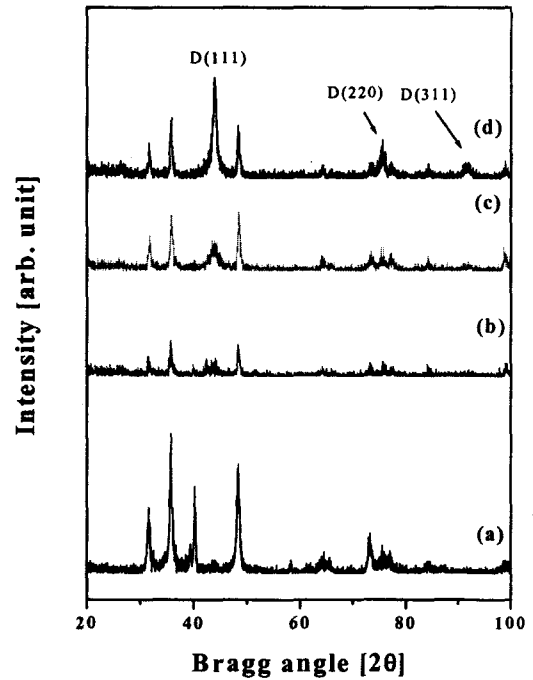


그림 10.  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$ 계에서 방전전력 변화에 대한 박막의 XRD 패턴 (a:500W, b:600W, c:700W, d:800W)  
 Fig. 10. XRD patterns of thin film at various  $\text{O}_2 : \text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{-CH}_4\text{-O}_2$  gas mixture (a:500W, b:600W, c:700W, d:800W)

방전전력이 증가함에 따라 입자의 크기가 증가하였으며 입자의 모양도 구형의 입자형태로 변화하였다. 방전전력 500 W에서는 텅스텐과 일부 탄소가 결합한 텅스텐 카바이드 피크와 텅스텐 피크가 같이 나타난 것으로 보아 방전전력이 약하고 기판온도가 낮아 메탄분자를 해리시키고 텅스텐 원자와 탄소 원자를 결합하지 못한 것으로 생각되어진다. 그러나, 방전전력이 증가함에 따라 텅스텐 피크는 점점 감소하고 다이아몬드 피크가 증가함을 알 수 있었으며, 방전전력 800 W에서 가장 질 좋은 다이아몬드 입자가 형성되었다.

#### 4. 결 론

본 실험에서 13.56 MHz 유도 결합형 고주파 플라즈마 화학기상 증착법을 이용하여 초경합금(WC-Co)을 질산처리 및 산소 플라즈마 처리하고 수소 50 sccm, 압력 20 torr로 고정시키고, 다양한 성장변수를 적용하여 다이아몬드를 합성하고 그 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전처리 과정으로 텅스텐 카바이드 표면에 코발트를 제거하기 위한 질산처리 실험에서  $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O} = 1:1$ 의 용액에 20분간 처리함으로써 코발트가 제거되었고, 탈탄을 위한 산소 플라즈마 처리에서는 수소 50sccm, 산소 5sccm, 반응 압력 20torr에서 방전전력 900W에서 가장 좋은 전처리 결과를 얻었다.

(2) 메탄농도의 변화 실험에서는 방전전력 800W에서 메탄농도가 증가함에 따라 구형의 다이아몬드 입자가 형성되었고 높은 메탄농도에서는 박막내에 다이아몬드와 동시에 흑연도 형성되었다. 수소에 대한 메탄농도 0.6%에서 가장 질이 좋은 다이아몬드를 얻을 수 있었다.

(3) 산소농도의 변화 실험에서는 방전전력 800W, 메탄농도 4%에서 산소농도가 증가함에 따라 비정질 탄소와 다이아몬드 입자가 동시에 에칭되었다. 산소농도 변화실험에서는 높은 메탄농도에도 불구하고 산소농도 0.6%에서 가장 결정성이 좋은 다이아몬드를 합성할 수 있었다.

(4) 방전전력 변화 실험에서는 메탄농도 4%, 산소농도 0.6%에서 방전전력이 높을수록 다이아몬드 입자가 잘 형성됨을 알 수 있었으며 800W에서 가장 질이 좋은 다이아몬드를 얻을 수 있었다.

이상의 결과에서 제한된 조건에서 초경합금 상에 다이아몬드 합성이 가능함을 확인하였으며, 산소첨가로 인해 질 좋은 다이아몬드 합성이 가능함을 알 수 있었다. 하지만, 공구로서의 용용을 위해서는 막의 균일한 피복과 기판과 막 사이의 부착력 증가에 관한 좀 더 많은 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 은 광용, 박 종구, 백 영준, "다이아몬드의 제조기술 및 개발동향", 요업재료의 과학과 기술, 8권 2호, pp. 109~121, 1993
- [2] M. A. Prelas, G. Popovici, L. K. Bigelow, "Handbook of Industrial Diamonds and Diamond Films", Marcel Dekker Inc., New York, pp. 1135~1147, 1997
- [3] P. Schwarzkopf, R. Kieffer, "Cemented Carbide", The Macmillan Company, New York, pp. 74~101, 1960
- [4] 이상희, 이덕출, "RF 플라즈마 CVD에 의한  $\text{CH}_4\text{-H}_2\text{-O}_2$  혼합기체로부터 다이아몬드 박막의 합성", 대한전기학회지, 47권 11호, pp. 1966~1971, 1998
- [5] H. Liu, D. S. Dandy, "Diamond Chemical Vapor Deposition", Noyes Publications, New Jersey, pp. 92~130, 1995

저 자 소 개



김 대 일 (金 大 一)

1971년 10월 14일생. 1998년 인하대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LG 생산기술원 연구원  
Tel : 016-302-4772  
E-mail : kdi2@lge.co.kr



이 용 근 (李 龍 根)

1960년 11월 6일생. 1985년 인하대 전기공학과 졸업. 1989년 University of Missouri 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 인하공업전문대학 전기과 조교수  
Tel : 032-870-2196  
E-mail : leeyong@true.inhatc.ac.kr



이 상 희 (李 常 熙)

1967년 2월 15일생. 1990년 인하대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학)  
Tel : 032-860-7393  
E-mail : sangl@orgio.net



김 보 열 (金 輔 烈)

1943년 1월 8일생. 1970년 인하대 전기공학과 졸업. 1977년 단국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하공업전문대학 전기과 교수  
Tel : 032-870-2195  
E-mail : boyoulk@true.inhatc.ac.kr



박 구 범 (朴 球 範)

1962년 1월 19일생. 1984년 인하대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년 일본 북해도 대학교 post-doctor. 현재 유한대학 전기과 부교수  
Tel : 02-2610-0734  
E-mail : pgb@yuhan.ac.kr



김 영 봉 (金 永 鳳)

1945년 1월 27일생. 1969년 인하대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하공업전문대학 전기과 교수  
Tel : 032-870-2194  
E-mail : ybongkim@true.inhatc.ac.kr



박 상 현 (朴 相 鉉)

1950년 1월 27일생. 1973년 경북대 물리학과 졸업. 1975년 경북대 교육대학원 공업교육전공 졸업(석사). 1984년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 졸업(공학). 현재 경남대학교 전기공학과 교수  
Tel : 055-249-2631  
E-mail : plasma@kyungnam.ac.kr



이 덕 출 (李 德 出)

1939년 1월 22일생. 1963년 인하대 전기공학과 졸업. 1966년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1976년 나고야대학교 전기공학과 졸업(공학). 1996년~1998년 인하대 공대 학장. 현재 인하대 전기공학과 교수.  
Tel : 032-863-7393  
E-mail : leedc@dragon.inha.ac.kr