

Fluidized Bed에서 화학증착법에 의해 증착된 열분해 탄소의 특성

송 성 표 · 이 재 영 · 진 역 용*

한국과학기술원 재료공학과

*아주대학교 재료공학과

(1984년 2월 29일 접수)

The Characteristics of Pyrolytic Carbon Deposited in a Fluidized Bed by CVD

Seong-Pyo Seung, Jai-Young Lee and Eog-Yong Chin*

Dept. of Materials Science and Eng. KAIST

*Dept. of Materials Science and Eng. Ajou Univ.

(Received 29 Feb., 1984)

ABSTRACT

The characteristic of pyrolytic carbon deposited in a fluidized bed, as measured by density, apparent crystallite size, and viewed metallographically, under polarized light can be easily controlled by adjusting the deposition parameters such as deposition temperature and propane flow rate or silicon content.

The density of isotropic pyrolytic carbons deposited from propane between 1200°C and 1400°C increases with increasing propane flow rate and decreasing deposition temperature from 1.73g/cc to 2.08g/cc. The apparent crystallite size, Lc parameter appears to depend only on deposition temperature, being entirely independent of the propane flow rate.

The carbon matrix density of the silicon-alloyed carbons deposited from propane and methyltrichlorosilane from 2.05g/cc for a silicon content around 9 wt% to 2.67g/cc for a silicon content of 36.7wt%. The Lc parameter of the deposition temperature, being entirely independent of the silicon content.

I. 서 론

열분해탄소(Pyrolytic Carbon) 혹은 CVD(Chemical Vapor Deposition) Carbon이란 900~2500°C의 온도 범위에서 메탄, 아세틸렌, 프로판등의 탄화수소를 열분해하여 얻어지고¹⁾, 증착조건에 따라 여러가지 조직을 지니고 있으며, 그 조직의 변화에 따라 다양한 성질을 가지므로²⁾ Rocket의 Nozzle이나 Nose Cone,³⁾ 복합재료⁴⁾, High Temperature Gas Cooled Reactor에 쓰이는 핵연료 입자의 Coating 재료⁵⁾ 등으로 사용되어 왔다. 또한 최근에는 등방성구조(Isotropic Stru-

cture)를 가지는 열분해 탄소가 심장-벤브나 Dental Implant 등과 같은 생체재료로 이용되고 있다.⁶⁾⁷⁾ 그런데 이와 같은 등방성 탄소를 얻을 수 있는 시스템으로는 본 실험실에서 개발된 Tumbling Bed⁸⁾와 외국에서 널리 쓰이는 Fluidized Bed가 있다. 그러나 본 실험실에서 그동안 Tumbling Bed를 사용하여 열분해탄소를 증착시켰지만 아직 Fluidized Bed를 이용하여 등방성탄소 증착시킨 적이 없기 때문에 본 실험에서 Fluidized Bed를 만들어 열분해탄소를 증착시켜 Tumbling Bed와 비교해 보기 위해 본 실험을 시작했다. 따라서 우선 생체재료에 사용되는 등방성탄소의 기계적

성질을 향상시키기 위해 실리콘을 첨가시키는데, 지금까지 발표된 논문들⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 보면 대기 탄화수소의 농도와 실리콘의 양을 동시에 변화시켜 실리콘첨가에 의한 효과를 정확히 볼 수 없었다.

따라서 본 실험에서는 여태까지 연구한 사람들이 만든 반응관의 geometry 및 변수들을 고려하여, 우선 생체제로 이용될 수 있는 순수 등방성 열분해탄소(Pure Isotropic Pyrolytic Carbon)을 만들어 그 특성을 조사하고 기계적 성질을 향상시키기 위해 실리콘을 첨가할 때 Carbon Source 인 프로판의 flow rate 를 일정하게 하고, 실리콘의 양과 온도를 변화시켜 그 효과를 보고자 한다.

II. 실험 방법

1. 시료준비

본 실험에서 사용한 시료로 Bed 입자는 30~50mesh 의 Sea Sand 입자를, Substrate 로는 직경이 6mm, 두께가 1mm 인 흑연 disc 를 사용했다. 그리고 carbon source 로는 열분해가 쉽게 일어나는 프로판기체를, Carrier 기체로는 알곤(Ar)기체를 사용했으며, 실리콘 Source 로 Methyltrichlorosilane (CH_3SiCl_3) 용액을 사용했다.

2. 실험 장치

Fig. 1 은 프로판으로부터 열분해탄소를 증착시키는데 사용된 실험장치의 모식도이다. 여기서 프로판기체와 알곤기체는 모두 건조제를 통해 수분이 제거된 후, Fisher & Poter Co. 의 Flowmeter 로 반응기체의 양을 조절하여 반응관으로 흘러 주었으며 반응구역에 도달되는 동안 혼합되도록 하였다.

본 실험에서 실리콘을 첨가할 때에는, 실리콘 source 인 CH_3SiCl_3 를 반응관으로 유입하기 위해 Bubbler 를 사용했다. 이것은 Carrier 기체로 사용되는 Ar 기체중 일부를 CH_3SiCl_3 용액에 흘려주어 Ar 기체와 CH_3SiCl_3 용액이 혼합되도록 한 것이다. 이때 혼합되는 CH_3SiCl_3 용액의 양은 Bubbler 통과하는 Ar 기체의 Flow Rate 에 따라 변화한다.

Fig. 2 는 본 실험에서 사용된 Fluidized-Bed Caater 를 자세히 그린 것으로 cone 의 상부에서 실제 반응이 일어나는 반응구역으로 여기에 Substrate 와 Bed 입자를 넣고 기체를 흘려주어 이들 입자들을 띄운 상태에서 반응시킨다. 이때 반응관은 유도로 가열했으며, 반응관의 산화를 막기 위해 절소를 흘려 주었다. 반응결과 생긴 배기기체중 Soot 를 Water Trap 및 Alkali Trap 에서 걸러낸 다음 대기 중심으로 방출시켰다.

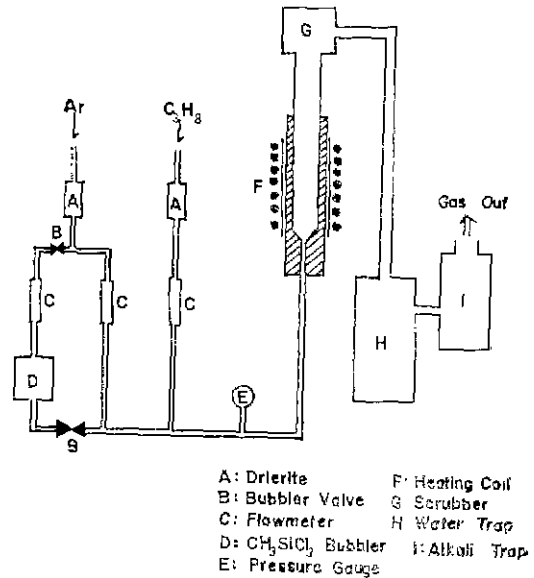


Fig. 1 Schematic diagram of coating apparatus

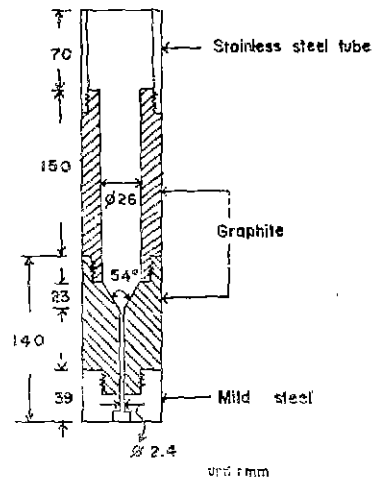


Fig. 2 Schematic diagram of fluidized-bed coater

3. 실험 방법

본 실험에서는 순수 등방성 열분해탄소(Pure Isotropic Pyrolytic Carbon)를 얻기 위해 반응온도 및 반응기체의 조성을 변화시켰으며, 기계적 성질을 개선하기 위해 실리콘을 첨가한 경우 carbon source 인 프로판의 Flow Rate 를 일정하게 하고, 반응온도와 실리콘의 양 즉, Bubbler 를 통과하는 Ar 의 Flow Rate 를 변화시켰다. 구체적인 실험조건은 Table 1, 2 에 나타내었다.

Table 1. Deposition Conditions of Pure Pyrolytic Carbon

Temp(°C)	Propane Flow		Rate (l/min)	
1200	0.5	1.0	1.5	2.0
1280	0.5		1.0	2.0
1360			0.5	
1440			0.5	

*Bed Particle : 30~50mesh Sea Sand 9g Total Flow Rate : 6.3l/min

Table 2. Deposition Conditions of Silicon-alloyed Pyrolytic Carbon

Temp (°C)	Ar flow rate through	CH ₃ SiCl ₃ bubbler (l/min)	
1200	0.5	1.0	1.5
1280	0.5	1.0	1.5
1360		0.5	
1440		0.5	

4. 특성 조사

(1) 밀도 측정

반응이 끝난 Substrate 들 증착면에 평행한 방향으로 절단한 후, 흑연 부분을 Paper 로 잘라내어 증착층만을 얻어낸 다음 Bromoform (d=2.677g/cc) 과 Ethyl-alcohol (d=0.79g/cc) 을 사용하여 Sink-Float Method 로 밀도를 측정하였다.

(2) Apparent Crystallite Size, Lc

Apparent Crystallite Size, Lc 는 밀도 측정에 사용된 시편을 X-Ray Diffractometer 로 Scan 하여 Bragg Angle 이 13° 되는 부근에서 (00 2) 면에 대한 Peak 를 얻어 이 Peak 의 Half Maximum Intensity 의 Width 로 부터 다음과 같은 Scherrer 식을 이용해서 계산했다. X-Ray 는 Ni-Filter 를 사용한 Cu-Kα 였다.

$$L_c = \frac{K \cdot \lambda}{B(00.2) \cos \theta}$$

여기서 K : Shape factor (0.89)
 λ : Wavelength of X-ray
 θ : Bragg Angle
 B(00.2) : Half Maximum Intensity Angular Width (Radians)

(3) 실리콘함량

본 실험에서 실리콘은 Ar 기체를 실리콘 Source 인 CH₃SiCl₃ 용액에 흘려줄 때 CH₃SiCl₃ 가 Bubbling 되면서 첨가된다. 시편의 크기 및 양 등의 여러가지 문제점이 있어 X-ray 및 습식으로 분석이 불가능했다.

따라서 X-ray 및 EDAX 로 Si 의 존재를 확인하고, 탄소연소법¹²⁾을 사용했다.

(4) Metallography

각 실험조건에서 증착된 Substrate 와 Bed 입자를 Mounting 하여 Polishing 한 후, 편광 현미경으로 증착층이 생체제로로 사용할 수 있는 등방성구조 (Isotropic Structure) 인가를 확인했다.⁶⁾¹³⁾

또 EDAX 와 SEM 을 사용하여 SiC 의 분포 및 형태, 그리고 Growth Feature 의 모양을 관찰했다.

(5) 증착속도

증착속도는 Substrate 에 증착된 두께를 반응시간으로 나누어 결정했다. 이때 증착층의 두께는 Substrate 의 평평한 부분에서 10point 이상 측정하여, 평균값을 사용했다.

III. 실험결과 및 고찰

1. X-ray Diffraction Pattern

일본해탄소를 X-ray Diffractometer 로 Scanning 하면 약 26°에서 Peak 가 나타난다. 이것을 분석하면 단간 거리 (interlayer spacing) 가 3.45Å 정도로 normal graphite (3.36Å) 보다 약간 크다는 사실을 알 수 있다.

또 이 Peak 는 상당히 broadening 되어 나타나는데 이것은 열분해탄소가 준결정 상태의 crystallite 로 이루어져 있음을 보여준다.

열분해탄소에 실리콘을 함유시켰을 때 26°의에 36° peak 이 나타나는데 이것은 SiC 의 (111) peak 이며, 따라서 Si 이 Carbon matrix 중에 임방척자 구조의 SiC 형태로 존재한다는 것을 알 수 있으며 일반적으로 β-SiC 으로 알려져있다.¹⁴⁾

2. 미세구조

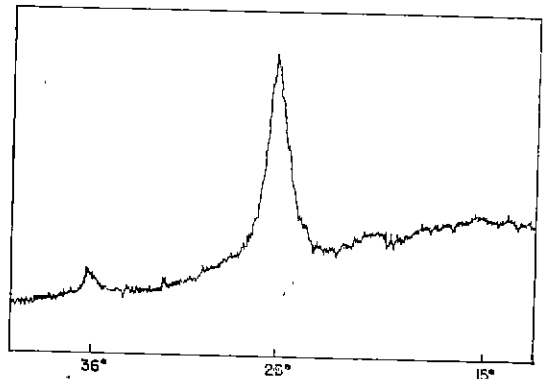


Fig. 3 X-ray Diffraction Profile (Propane : 0.5, Si : 10.2w/0.1360°C)

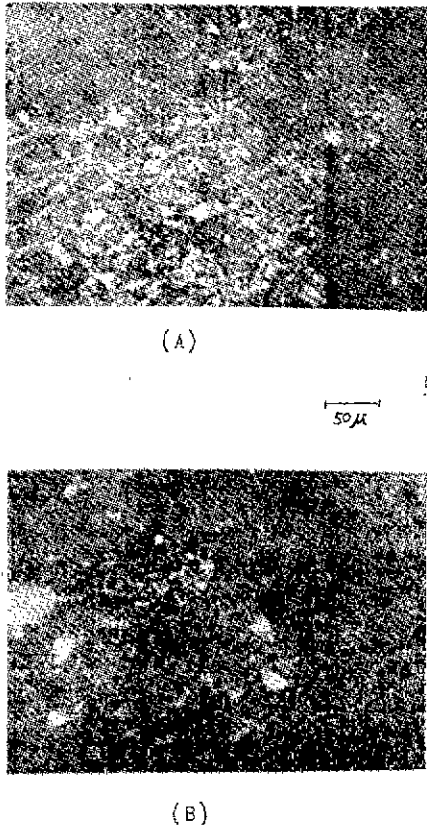


Fig. 4 Microstructure of pyrolytic carbons(Polarized light)
 (A) Pure pyrolytic carbon(Control temp : 1280°C, Propane flow rate : 0.5l/min)
 (B) Silicon-alloyed pyrolytic carbon (8wt. / %) (Control temp : 1280°C, Propane flow rate : 0.5l/min)

증착층의 구조가 생체재료에 적합한 등방성구조인가를 확인하기 위해, 각 실험에서 증착된 Substrate와 Bed 입자를 Mounting 하여 Polishing 한 후 편광 현미경에서 Bright Field와 편광으로 관찰했다.

Fig. 4 (A)는 증착온도 1280°C, Total Flow Rate 6.3l/min, C₃H₈ Flow Rate 0.5l/min 인 실험조건에서 증착된 순수열분해탄소를 (B)는 (A)와 같은 실험 조건에 다만 실리콘을 8Wt% 첨가한 열분해탄소의 편광 사진이다. (A)에서 보면, 바깥부분 즉 증착층이 편광과 반응하지 않고 검게 나타났다. 즉, 증착된 열분해탄소가 등방성구조임을 나타내 준다. (B)에서도 (A)와 마찬가지로이다. 또 다른 모든 조건에서도 등방성구조를

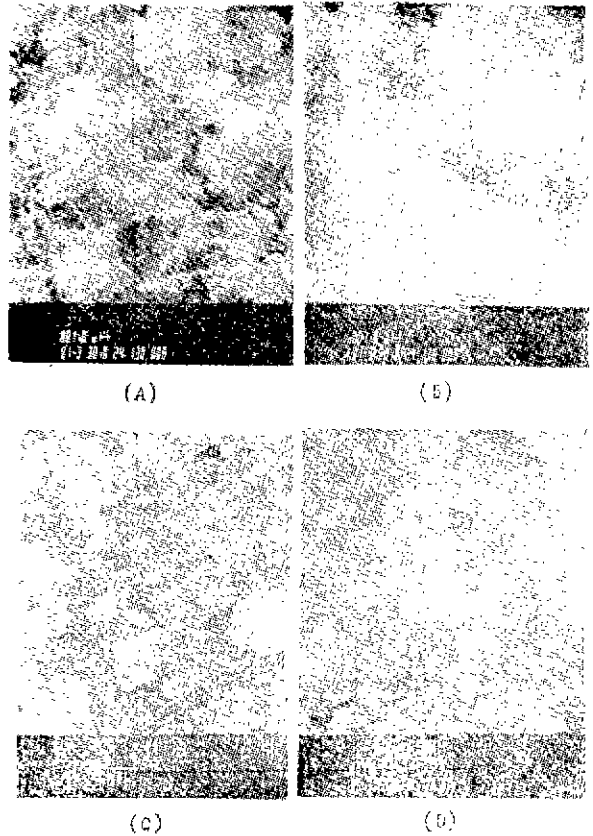


Fig. 5 Scanning electron micrographs of fractured surfaces of pyrolytic carbons deposited from propane at 1280°C : propane flow rate was 0.5l/min.
 (A) Si-alloyed Pyrolytic carbon (8wt. %)
 (B) Dot Mapping of SiO at (A)
 (C) Magnify (a)
 (D) Pure pyrolytic carbon

가졌다. 이는 C₂H₆로부터 열분해탄소를 증착시킨 Beatty¹⁵⁾의 실험결과와 일치한다.

Fig. 5는 증착층의 수직 파단면을 SEM으로 본 것이다. (A)는 실리콘이 8Wt% 첨가된 경우이며, (B)는 EDAX를 이용하여 (A)에서의 SiC를 Dot Mapping한 것이다. 이로부터 SiC가 Matrix 내에 균일하게 분포하며 어떤 특정한 형태로 존재하지 않음을 알 수 있다. (C)는 (A)를 고배율로 본 것이며, (D)는 순수열분해탄소의 수직 파단면 사진인데, 둥근 형태의 Growth Feature가 보인다. 이러한 사실은 등방성구조가 균일 핵생성에 의해 형성된 Droplet가 모여 이루어졌다는 사실을¹⁶⁾ 뒷받침해 주고 있다.

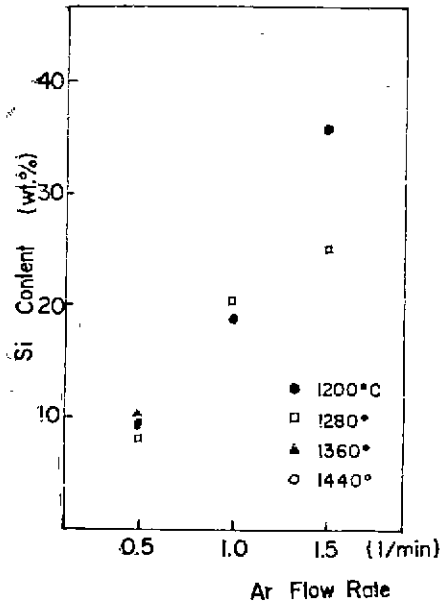


Fig. 6 Silicon content versus Ar flow rate through methyltrichlorosilane bubbler
 (Total flow rate : 6.3
 Propane flow rate : 0.5
 Bed particle : 30~50mesh 9g)

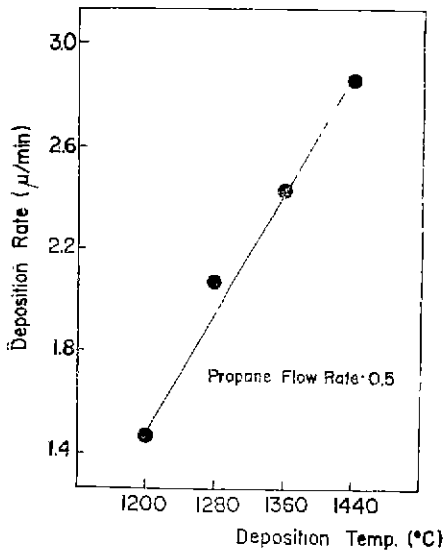


Fig. 7 Deposition rate versus control temperature of pure pyrolytic carbons

3. 실리콘함량

열분해탄소에 실리콘을 첨가한 경우, CH_3SiCl_3 Bubbler를 통과한 Ar Flow Rate에 따른 실리콘함량 변화를 Fig. 6에 나타냈다. 이때 열분해 탄소에 첨가된

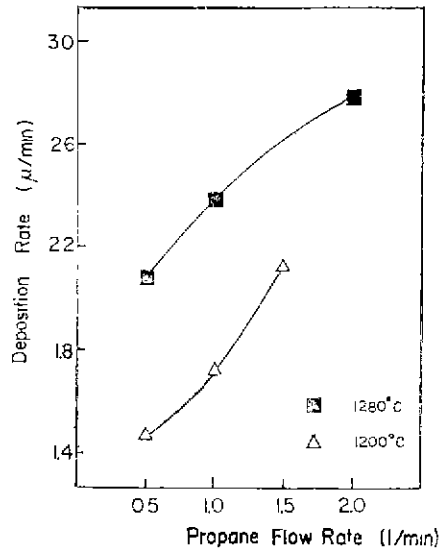


Fig. 8 Deposition rate versus propane flow rate of pure pyrolytic carbons

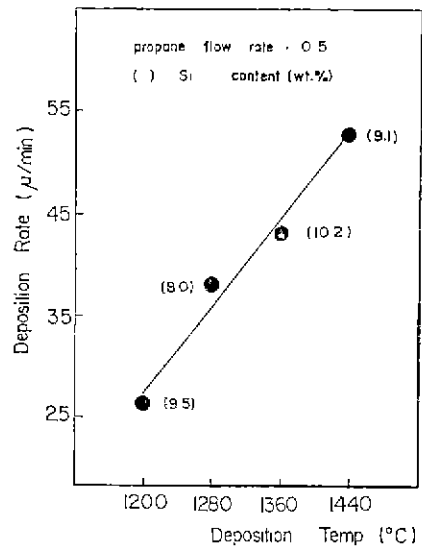


Fig. 9 Deposition rate versus control temperature of silicon-alloyed pyrolytic carbons

실리콘의 양은 증착온도에 상관없이 Bubbler에 유입된 Ar Gas의 Flow Rate에 따라 8~35.7Wt% 범위의 값을 가졌고, 이는 Bubbling되는 CH_3SiCl_3 용액의 Boiling Point 대기압에서 66.7°C¹⁷⁾이므로 반응관에 도달되기 전에 완전히 증기화되어 증착온도의 영향을 받지 않기 때문이다. 그리고 Bubbler를 통과하는 Ar 기체의 양이 많을수록 Si의 함량이 증가하는 것은, Bubbling되는 CH_3SiCl_3 용액의 양이 증가하기 때문이다.

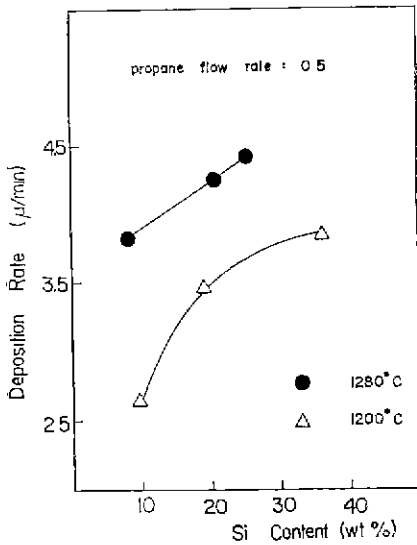


Fig. 10 Deposition rate versus silicon content of silicon-alloyed pyrolytic carbons

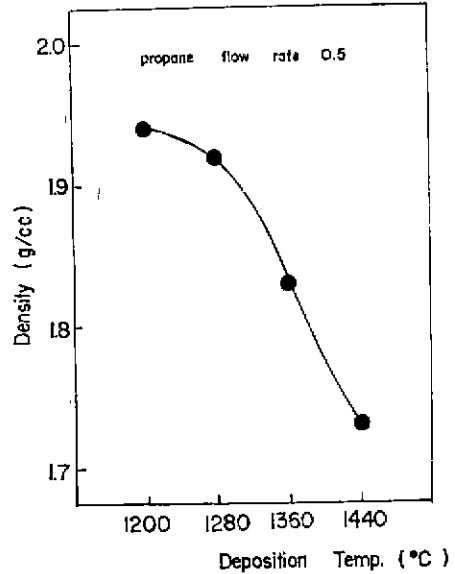


Fig. 12 Density versus control temperature of pure pyrolytic carbons

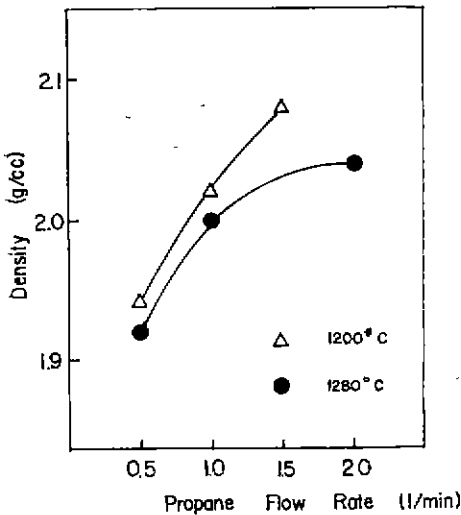


Fig. 11. Density versus propane flow rate of pure pyrolytic carbons

4. 증착속도

(1)

Fig. 7 은 C_3H_8 의 Flow Rate 를 0.5 l/min 로 일정하게 했을 때, 증착온도에 따른 증착속도의 변화를 나타낸다. 이때 증착온도에 따라 증착속도가 증가하는 것은, C_3H_8 의 열분해 반응이 흡열반응이므로, 증착온도가 증가함에 따라 C_3H_8 의 분해가 쉽게 일어나, 증착될 Carbon Source 가 증가되기 때문이다.

Fig. 8 은 C_3H_8 의 Flow Rate 에 따른 증착속도의 변화를 나타낸다. 이때 C_3H_8 의 Flow Rate 에 따라 증착속도가 증가한 것은, C_3H_8 의 열분해 반응이 흡열반응이므로 실제 반응온도가 증착온도보다 떨어지지만⁽⁶⁾⁽¹¹⁾, 그 온도 범위에서 열분해가 충분히 일어날 수 있으므로, 증착될 Carbon Source 가 증가하기 때문이다.

(2) 실리콘을 포함한 열분해탄소

Fig. 9 는 CH_3SiCl_3 용액을 통과한 Ar flow rate 가 0.5 l/min 일때, 증착온도에 따른 증착속도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 증착온도가 증가함에 따라 증착속도가 증가하는 것은 순수열분해탄소와 마찬가지로 설명할 수 있다. 이때 Fig 7 의 값과 비교하면, 증착속도가 1.8배 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 본 실험에서 Silicon Source 로 사용한 CH_3SiCl_3 가 분해될 때 생긴 Chloride 이온이 free radical 을 형성하고, 이것이 촉매역할을 하여 C_3H_8 의 분해를 촉진시키고, CH_3SiCl_3 자체에 Carbon Source 가 포함되어 가고 있고, 실제 반응온도가 순수열분해탄소를 증착시켰을 때보다 높았기⁽¹¹⁾ 때문이라 생각된다.

Fig. 10 은 Si의 함량에 따른 증착속도의 변화를 나타낸다. 이때 Si 이 첨가됨에 따라 증착속도가 증가함을 알 수 있다. 그 이유는 바로 앞에서 설명한 바와 같다.

5. 밀도

1) 순수열분해탄소

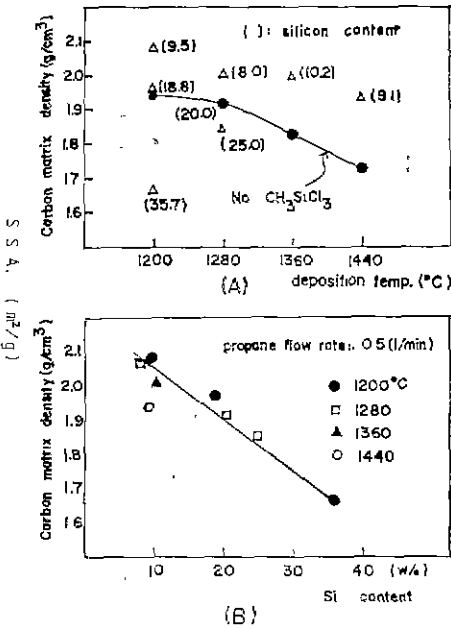


Fig. 13 Carbon matrix density versus control temp. & Si content of silicon-alloyed pyrolytic carbons

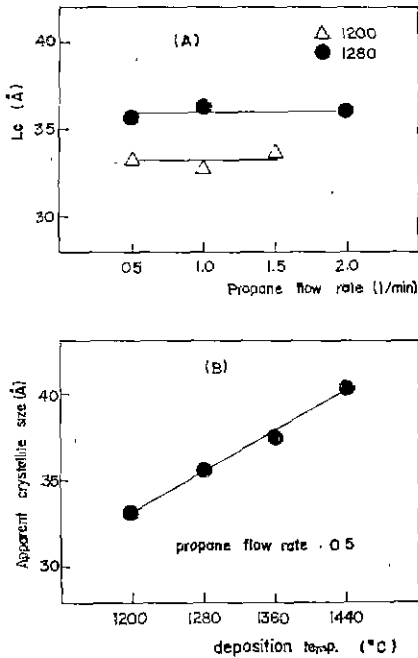


Fig. 14 Apparent crystallite size versus propane flow rate & control temp. of pure pyrolytic carbons

Fig. 11은 C₃H₈의 Flow Rate에 따른 열분해탄소의 밀도 변화를 나타낸다. 여기서 C₃H₈의 Flow Rate에 따라 열분해탄소의 밀도가 증가한다. 이는 C₃H₈의 열분해 반응이 흡열반응이므로, 실제 반응온도가 증착 온도 보다 떨어지기 때문이다. 즉, 온도 감소에 의한 밀도 증가로 볼 수 있다. 이러한 사실은 실제 반응온도와 밀도를 Plot한 Akins¹¹⁾의 실험결과와 비교해 보면 쉽게 알 수 있다.

Fig. 12는 C₃H₈의 Flow Rate를 0.5 l/min로 일정하게 하고, 반응온도에 따른 열분해탄소의 밀도 변화를 나타낸다. 반응온도가 증가하면 열분해탄소의 밀도는 감소한다. 이는 1500°C 이하에서 온도가 증가하면 열분해탄소의 밀도가 감소한다는^{9), 15)} 사실과 일치한다. 이러한 현상은 Pollmann¹⁰⁾등 등방성구조를 구성하는 Growth Feature 내부의 구조를 TEM으로 관찰해서 설명했다. 즉, 1200°C~1450°C 사이의 증착온도에서 온도가 증가할수록 등방성열분해탄소의 구조는 밀도가 높은 Mosaic Component에서 Micropore가 많은 Fiber Component로 급격히 변화하며 밀도가 감소하게 된다. 따라서 밀도 변화는 실제 반응온도에만 의존함을 알 수 있다.

(2) 실리콘을 함유한 열분해탄소

Fig. 13(A)는 증착온도에 따른 Carbon Matrix 밀도 (Matrix 내에 존재하는 SiC를 제외한 Pure Pyrolytic Carbon의 밀도로, SiC의 밀도를 이론밀도인 3.21g/cc:라 가정하고 실리콘의 농도와 Bulk Density로부터 계산)의 변화를, (B)는 실리콘의 함량에 따른 Carbon Matrix Density의 변화를 Plot한 것이다.

Fig. 13(A)에서 실리콘이 첨가되지 않은 경우의 밀도와 비교하면, 실리콘이 20Wt% 이하 첨가된 경우 Carbon Matrix Density가 상당히 높음을 알 수 있다. 이는 실리콘의 함량이 적으면 SiC가 Droplet 내에 골고루 분포하여²⁰⁾ Micropore의 양을 상당히 감소시키지만, 실리콘의 함량이 증가하면 (B)에서 보는 바와 같이 밀도가 급격히 감소한다. 이런 현상은^{9), 21)} 이미 알려진 사실이지만, 그 원인은 아직도 밝혀지지 않고 있다. 그러나 본인은 SiC의 양이 많아지면 SiC 입자의 크기가 커지고, SiC가 증착면에 수평하게 연속적으로 배열된다.²⁰⁾ 사실로부터 SiC와 Carbon Matrix 사이에 Micropore의 양이 증가하기 때문에 밀도가 감소한다고 생각할 수 있다.

6. Apparent Crystallite Size, Lc

6-1) 순수열분해탄소

Fig. 14(A)는 C₃H₈의 Flow Rate에 따른, Lc의 변

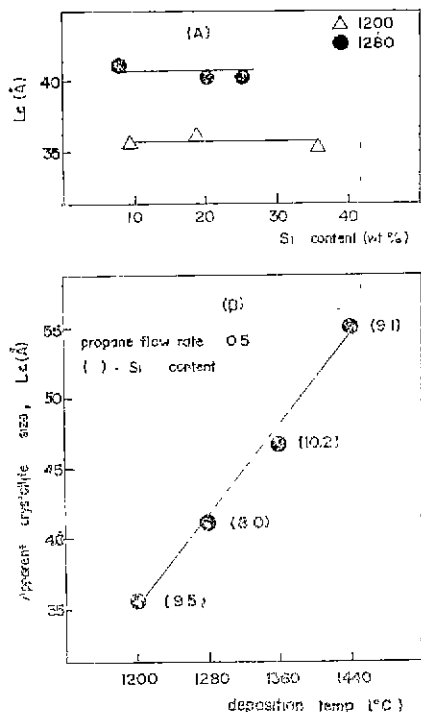


Fig. 15 Apparent crystallite size versus silicon content & control temp. of silicon-alloyed pyrolytic carbons

화물, (B)는 C_3H_8 의 Flow Rate를 0.5l/min로 일정하게 유지하고 증착온도에 따른 Lc의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 C_3H_8 의 Flow Rate에 따라 거의 변화가 없고, 증착온도에 따라 약간 증가했다. 이러한 결과는 Lc가 증착온도에만 의존한다는 Beatty¹⁵⁾의 결과와 비슷한 경향을 나타내지만, Gas-Inlet의 Geometry, Total Flow Rate, Bed 면적등이 다르므로 상당한 차이가 생겼다고 볼 수 있다. 그러나 Lc가 온도에만 의존하는 이유는 아직도 밝혀지지 않고 있다.

6-2) Si을 함유한 열분해탄소

Fig. 15(A)는 실리콘 함량에 따른 Lc 변화물, (B)는 Bubblor를 통과한 Ar의 Flow Rate가 0.5l/min일때 증착온도에 따른 Lc의 변화를 나타낸 것으로, Lc값은 실리콘의 함량에 무관하고 반응온도에 따라 증가함을 알 수 있다. 이 값을 Fig. 14의 값들과 비교해 볼 때 그 차이가 상당히 크다. 이러한 사실은 실리콘 Source로 CH_3SiCl_3 를 사용하고, C_3H_8 의 농도가 낮은 경우 증착온도와 실제 반응온도가 거의 같다는 보고를 고려해 볼 때 온도변화가 뚜렷하게 나타난 것이라 볼 수 있다. 또한 이 때의 Lc값은 C_3H_8 으로부터 Pure Pyrolytic Carbon을 증착시킨 Beatty의¹⁵⁾ Lc값과 같

은 온도범위에서 거의 비슷한 값을 가졌다. 이로부터 Lc값은 온도에만 의존한다는 사실을 알 수 있다. 그러나 실리콘의 함량에 따라 Lc가 변화하지 않는 이유는 아직 설명할 수 없다. 다만 Lc값이 기계적 성질에 중요한 영향을 주므로 좀더 많은 인구가 앞으로 진행해야 한다.

IV. 결 론

1. 순수열분해탄소

1) 증착속도는 C_3H_8 의 Flow Rate 및 증착온도가 증가함에 따라 증가한다.

2) 밀도는 C_3H_8 의 Flow Rate가 증가할수록 증착온도가 감소할수록 증가한다. 이때 C_3H_8 의 Flow Rate의 증가로 밀도가 증가하는 원인이 온도감소에 의한 것이므로, 밀도는 실제증착 온도에만 의존한다고 볼 수 있다.

3) Lc는 C_3H_8 의 Flow Rate에 상관없이, 증착온도에만 의존한다.

2. Si을 함유한 열분해탄소

1) 증착속도는 순수열분해탄소 보다 1.8배 이상 증가한다.

2) Carbon Matrix Density는 실리콘이 첨가됨에 따라 감소한다.

3) Lc는 실리콘의 함량에 관계없이 반응온도에만 의존한다.

참 고 문 헌

1. H. B. Palmer and C. F. Cullis, "Chemistry and Physics of Carbon," Vol. 1, Chapter 5, P. L. Walker, ed., Marcel Dekker, New York (1965)
2. P. L. Walker, Jr., "Carbon-An Old but New Materials," Carbon, 10, 369 (1972)
3. Martin C. Hughes, et al., "Interim Report for Period Dec. 1972-Jan. 1974," AFRDL-TR-74-15, Vol. (1974)
4. Gwyn M. Jenkins "Biomedical applications of Carbon fibre reinforced carbon in implanted Prostheses," Carbon 15 33 (1977)
5. W. V. Goodel, "Development and Utilization of Pyrolytic-Carbon-Coated Carbide fuel for the high-temperature gas-cooled reactor," Nucl. Sci. Eng., 20, 201 (1974)
6. J. C. Bokros, "Chemistry and Physics of Carbon," Vol. 5, Chapter 1, P. L. Walker, ed.,

- Marcel Dekker, New York(1965)
7. J. C. Bokros, "Carbon biomedical devices," *Carbon*, **15**, 355(1977)
 8. J. Y. Lee, J. H. Je, W. S. Ryu and H. S. Kim, "A study of the properties of pyrolytic carbons deposited from propane in a tumbling bed and stationary bed between 900°C and 1230°C," *Carbon*, **21**, 523 (1983)
 9. J. L. Kaae, J. C. Bokros and D. W. Stevens, *Carbon*, **10**, 571 (1972)
 10. R. J. Price and K. Koyama, *Carbon*, **12**, 171 (1974)
 11. R. J. Akins, J. C. Bokros, "The deposition of pure and alloyed isotropic carbons in steady state fluidized beds," *Carbon*, **12** 439(1974)
 12. 한국 공업규격 KS D 1804
 13. R. J. Gray and J. V. Cathcart, *J. Nucl. Mater.*, **19**, 81 (1966)
 14. T. D. Gulden, "Deposition and microstructure of vapor-deposited silicon carbide," *J. Am. Ceram. Soc.*, **51**, 424 (1968)
 15. R. L. Beatty, "Pyrolytic carbon deposited from propane in a fluidized bed," ORNL-TM-1649, Jan. 1967
 16. J. C. Bakros, "Variation in the crystallinity of carbons deposited in fluidized beds," *Carbon*, **3**, 201 (1965)
 17. T. Boublik, V. Fried, E. Hala, "The vapor pressures of pure substances," 32, Elsevier(1975)
 18. C. F. Cullis and A. C. Norris, "The influence of chlorine on the formation and properties of pyrolytic carbon," *Carbon*, **12**, 218 (1974)
 19. E. Pollmann, J. Pelissier, C. S. Yust and J. L. Kaae, "Transmission electron microscopy of pyrocarbon coatings," *Nucl. Tech.*, **35**, 301 (1977)
 20. J. L. Kaae and T. D. Gulden, "Structure and mechanical properties of codeposited pyrolytic C-SiC alloys," *J. Am. Cer. Soc.*, **54** 605(1971)
 21. J. C. Bokros, D. W. Stevens, and R. J. Akins, *Carbon*, **9**, 439(1971)

A New Particle Classifier. Model 100 MZR.

Alpine American 社에서 개발한 새로운 입자 분류기는 석회석 및 그와 비슷한 밀도를 갖는 물질을 2~90 μm 의 범위에서 마음대로 분류할 수 있고 특히 2~10 μm 의 범위에서는 매우 정확히 분류할 수 있다. 금속분말과 같이 밀도가 큰 물질은 2~45 μm 의 범위에서 사용이 가능하다. 이 분류기는 방사상의 통로(Channel)가 있는 회전판을 사용하는데 이것을 통해 입자들은 공기유통에 의해 바깥쪽으로부터 중심으로 가게 된다. 너무 큰 입자들은 통로를 통해 떨어져 큰 입자만 모으는 병안으로 떨어지게 된다. 이 Model 100MZR의 처리 속도는 재료의 종류에 따라 다르지만 약 10kg/h 정도이다. 이 기계의 특징은 쉽게 분해하여 청소할 수 있다는데 있다.

(*Am. Cer. Soc. Bull.*, **63**(1), 1984)

Machinable Ceramic Material. B-99

Bar-Lo Carbon Products 社에서 개발된 미립 등방성의 기계가공이 가능한 이 재료는 허용오차내에서의 가공이 가능하고 소성후 0.025% 이하의 변형을 가지며 공구강과 비슷한 강도를 가진다. B-99 재료는 탄화물과 비슷한 정도의 마모도를 가지며 사용온도는 1200°C 정도이다. 열충격저항 특성과 고온에서의 유전강도가 좋기 때문에 전기 및 열 차단재, brazing and welding fixtures, firing boats, prototype works, 후막 및 박막제조 등에 이용할 수 있다. 또한 여러 종류의 판상 및 봉형을 이용할 수 있다.

(*Am. Cer. Soc. Bull.*, **63**(1), 1984)