

마이크로파 플라즈마 CVD 방법에 의한 다이아몬드 박막 형성

이유성 · 강민성 · 이광만* · 이개명** · 김덕수*** · 고정대 · 최치규
제주대학교 물리학과, *전자공학과, **전기공학과, ***화학과

A Formation of the Diamond Thin Film by Micro Wave Plasma Chemical Vapor Deposition Method

You Seong Lee, Min Sung Kang, Kwang Man Lee*, Kae Myoung Lee**,
Duk-Soo, Kim***, Jeong Dae Ko, and Chi Kyu Choi
*Department of Physics, *Department of Electronic Engineering,
Department of Electrical Engineering, *Department of Chemistry,
Cheju National University, Cheju 690-756, Korea*

Abstracts

High quality diamond films of the silicon on diamond (SOD) structure are deposited using CH₄ and H₂ gas mixture in microwave plasma chemical vapor deposition (CVD), a SOD structure is fabricated using low pressure CVD polysilicon on diamond/Si(100) substrate. The crystalline structure of the diamond films which composed of {111} and {100} planes, were changed from octahedral one to cubo-octahedron one as the CH₄ ratios are increased. The high quality diamond films without amorphous carbon and non-diamond elements were deposited at the CH₄ flow rate ratio of 1.5%, and the main phase of the diamond films shows (111) plane. The poly-Si/Diamond/SiC/Si(100) structure shows that the interface is flat without voids.

1. 서 론

다이아몬드 박막이 화학기상 증착법으로 형성 가능함에 따라 반도체, 고온 고주파, 광전

자 그리고 wide band gap의 특성에 따른 각종 센서 등의 소자에 적용하려는 연구가 많이 이루어지고 있다^[1-3]. 특히 다이아몬드 박막은 유전상수가 낮고, 열전도율이 우수하여 소자의

heat sink 물질로 응용 가능성이 규명되어 집적회로 소자와 전력소자에서 SOI(silicon on insulator) 구조의 SiO₂ 절연층 대신 다이아몬드 박막을 사용한 SOD(silicon on diamond) 구조로 바꾸면 열전도성(100°C에서 Cu의 3배)과 내열성이 우수하여 소자의 특성이 향상될 것으로 알려지고 있다^[4]. 이 구조를 제작하는데 있어서 가장 중요한 것은 평활한 계면을 갖는 epi-Si/diamond/poly-Si 구조와 절연 특성이 우수한 다이아몬드 박막을 형성하는 것이다. 일반적으로 다이아몬드 박막의 표면에 나타날 수 있는 가능한 결정면은 {111}, {110}, {311}, {331}과 {100} 등이며, 특히 {100} 면은 매끈한 표면을 가질 뿐만 아니라 박막이 평행하게 성장한다^[5-8]. 화학기상 증착 방법에 의하여 형성되는 다이아몬드 박막은 기판의 조건, 반응가스, 기판온도 및 형성방법 등에 따라 그 특성이 다양하게 나타나며^[9-13], 최근에는 다이아몬드 박막이 성장함에 따라 박막 표면이 일정한 방향의 morphology를 나타내는 texture 구조 성장에 대한 연구가 시도되고 있다^[9]. 한편 다이아몬드 박막의 에피택셜 성장은 다이아몬드 기판이나 BN 기판 등의 극히 제한된 범위 내에서 국소적으로 진행되고 있음이 보고되고 있으나 소자 응용을 위한 Si 기판 위에서는 에피택셜 성장에 성공하지 못하고 있다^[14,15]. 이것은 화학기상성장법으로 다이아몬드 박막을 증착할 경우 탄소원에 의하여 hydrocarbon, 혹은 비정질 탄소 등과 같은 nondiamond 성분이 상당량 박막 내부에 포함되기 때문이다^[16-18].

다이아몬드 박막을 증착하는 방법 중 마이크로파 플라즈마 화학증착법(microwave plasma enhanced chemical vapor deposition : MWPECVD)은 저온 플라즈마로서 고밀도 플라즈마를 가지며, 이온 에너지가 높고, 반응가

스를 충분히 해리시킬 수 있다는 잇점 때문에 다이아몬드 박막 합성에 많이 이용되고 있다. 마이크로 웨이브 화학기상 증착법의 경우 약 1000~1500W, CH₄ 농도가 1% 내외, 증착압력이 수십 Torr, 기판온도가 800°C 이상의 고온에서 다이아몬드 박막의 순도가 향상된다는 것이 알려져 있다^[19,20].

본 연구에서는 SOD 구조 형성에 따른 양질의 다이아몬드 박막을 CH₄의 농도 변화에 따라 마이크로파 화학기상 증착법으로 형성시키고, 형성된 다이아몬드 박막의 결정상을 X-선 회절법과 Raman 분광법을 이용하여 조사하였으며, 표면 morphology, 계면상태와 거칠기는 3차원사전자현미경(field emission scanning electron microscope : FESEM)과 원자력간 현미경(atomic force microscope : AFM)로 분석하였고, SOD 구조가 형성된 박막의 비저항을 통하여 절연 상태에 따른 소자로의 이용 가능성을 알아보았다.

2. 실험 방법

실험에 사용한 기판은 비저항이 5~10 Ω cm인 p형 Si(100) 웨이퍼로 크기는 5인치였다. 다이아몬드 박막을 증착하기 전에 Si 기판을 표준세척 공정에 따라 처리하여 기판 표면의 불순물과 산화막을 완전히 제거하였다. 다이아몬드 박막형성에 따른 기판은 20~30 μm 크기의 다이아몬드 분말을 아세톤 용액에 넣어 초음파 세척기로 30분간 표면 처리한 후 웨이퍼를 buffered oxide etchant(BOE)용액에 약 10초간 담가 탈 이온된 2차 증류수로 세척한 후 건조한 질소로 말린 다음 마이크로 웨이브 화학기상 증착장치 반응로에 장착하였다.

한편 다이아몬드/Si 구조에서 평활한 계면을 얻기 위하여 기판 Si(100) 표면을 다이아몬드 분말로 scratch를 내지 않고 SiC 층을 약 80Å의 두께로 에피택셜 성장시켰다. 반응로의 초기 진공도를 $\sim 10^{-7}$ Torr로 한 다음 1.5~3%의 CH₄가 함유된 H₂ + CH₄ 가스를 주입하면서 기판의 온도를 올렸다. 기판의 온도가 900°C에서 일정하게 유지되도록 조절하였고, 반응로의 압력이 약 30 mTorr가 유지되도록 H₂ + CH₄와 혼합가스의 유량을 300sccm 유입시킨 후 마이크로파를 발생시켜 기판 위에 플라즈마가 형성되도록 하였으며, 각 반응조건에 따라 마이크로파 tuner를 조절하여 플라즈마를 안정시켰다. 여기서 마이크로파의 전력은 1.3kW로 하였고, 다이아몬드 박막의 증착은 3~5시간 하였다. 이 때 반응가스는 99.99% 이상의 고순도를 사용하였고, 기판의 온도는 플라즈마 상태에서 IR optical pyrometer(Minolta IR630)로 제어하였다. poly-Si의 박막 형성은 LPCVD 방법을 이용하여 다이아몬드 박막 표면에 약 0.6 μm로 증착하였다.

형성된 다이아몬드 박막의 결정상과 상전이 현상은 박막 측정용 XRD(Rigaku D/MAX-RC)를 사용하여 분석하였다. X-선원은 Ni 필터를 통하여 얻은 CuK_α로 그 파장은 0.154 nm이었고, 필라멘트 전류는 20 mA, 가속전압은 45 kV 이었다. Full scale 은 5×10^3 cps로 하였으며, 주사영역은 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standard) 카드 상에 나타나 있는 다이아몬드 박막의 스펙트럼 분포를 고려하여 2θ를 40°에서 145°의 범위로 하였다. 다이아몬드 입자상에 대한 분석은 488 nm의 Ar laser를 사용한 micro Raman spectroscopy(Jobin Yvon, U1000)를 이용하였다. 여기서 laser의 전력은 120 mW, scan 영역

은 1000~1700 cm⁻¹의 범위에서 scanning step을 2 cm⁻¹로 측정하였다. 그리고 SOD 구조에서의 표면상태, 결정상 및 핵 형성 상태, 계면 상태 그리고 두께 등을 FESEM(Hitachi S-800)으로 조사하였고, 이 때 입사 전자비입의 가속전압은 10 kV, 배율은 20,000배에서 50,000배로 하였다. 박막의 비저항은 4-point probe 방법으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

다이아몬드 박막의 결정성, 핵형성 밀도, 결정립의 크기, 그리고 표면 morphology 등은 반응로의 플라즈마 변수, 기판온도, 증착시간과 탄소원의 종류, 그리고 유량비 등에 영향을 받는다. 일반적으로 마이크로파 플라즈마 화학 기상증착법에 의한 다이아몬드 박막의 증착은 플라즈마 상태에서 활성화 에너지와 탄소원의 유량비에 따라 결정성이 다르게 나타난다^[1,7]. 따라서 본 연구에서는 먼저 다이아몬드 박막의 결정성을 유량비 변화에 따른 XRD 스펙트럼으로 분석하였다.

그림 1은 탄소원을 CH₄의 주입량에 따라 형성시킨 다이아몬드 박막의 XRD 스펙트럼이다. 여기서 2θ가 116.1°에서 나타난 피크는 Si(400) 면으로 기판 Si(100)면에 대한 회절 스펙트럼이다. CH₄의 농도가 3%인 시료에서 2θ가 43.9°, 75.3°, 91.5°, 116.6°와 119.5°에서 나타난 피크는 다이아몬드 결정상의 (111), (220), (311), (400)와 (311) 면에 대한 회절 스펙트럼이다. 주 결정상은 (111) 면이며, 형성된 박막은 많은 결정상이 혼합된 다결정질 다이아몬드로 생각된다. CH₄의 농도가 2%인 시료에서는 농도가 3%인 시료와 동

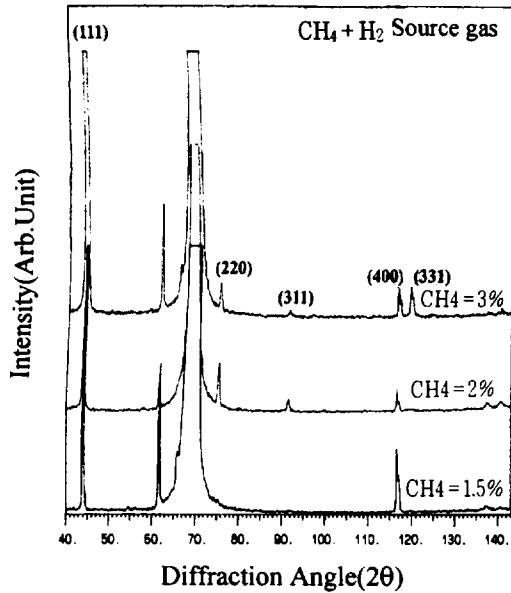
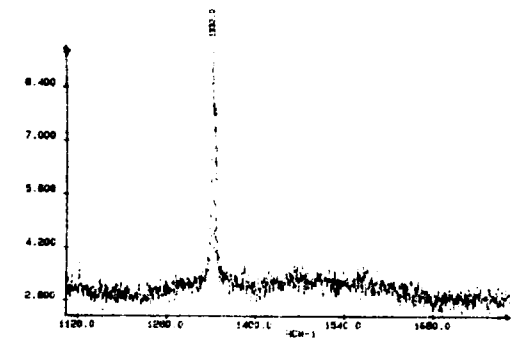


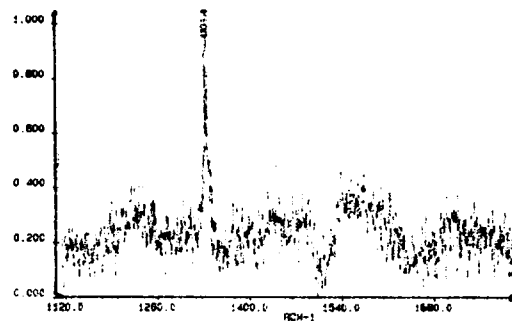
Fig. 1 XRD spectra of the diamond films deposited as function of the flow rate ratio of CH₄ and H₂ mixture gases. (a) CH₄ = 1.5%, (b) CH₄ = 2%, and (c) CH₄ = 3%.

일한 피이크가 관측되었으나 (220) 면에 대한 피이크외에는 전반적으로 피이크의 강도는 감소되었다. 그러나 CH₄의 농도가 1.5%인 시료에서는 (220), (311)과 (331) 면에 대한 피이크가 관측 되지않았다. 이상의 XRD 결과로 보아 다이아몬드 박막의 결정상은 탄소원의 농도에 의존됨을 알 수 있다.

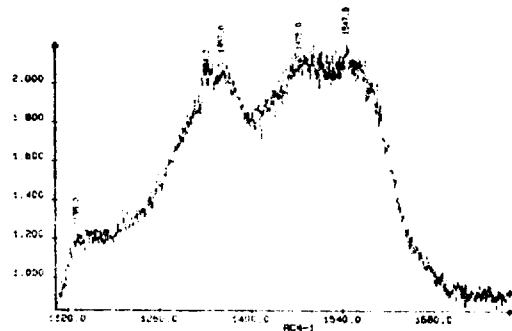
그림 2는 탄소원 CH₄의 농도를 1.5%, 2%와 3%로 했을 때 형성된 다이아몬드 박막의 Raman 스펙트럼이다. CH₄ 탄소원의 농도가 1.5%와 2%인 시료에서는 전형적인 다이아몬드 박막의 Raman 스펙트럼이다. 그러나 CH₄ 탄소원의 농도가 3%인 시료에서는 1334cm⁻¹와 1475cm⁻¹ 그리고 1547cm⁻¹에서 다이아몬드 박막과 비정질 carbon과 nondiamond 피이크



(a) 1.5%



(b) 2.0%



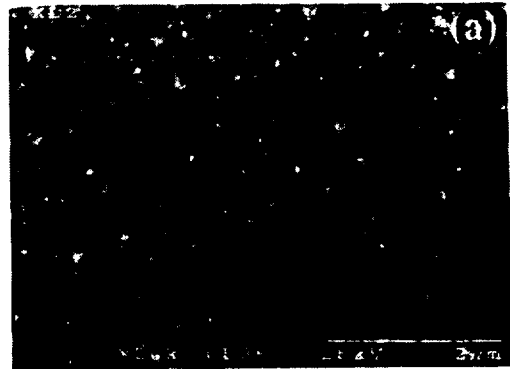
(c) 3.0%

Fig. 2 Raman spectra of the diamond films deposited as function of the flow rate ratio of CH₄ and H₂ mixture gases. (a) CH₄ = 1.5%, (b) CH₄ = 2%, and (c) CH₄ = 3%.

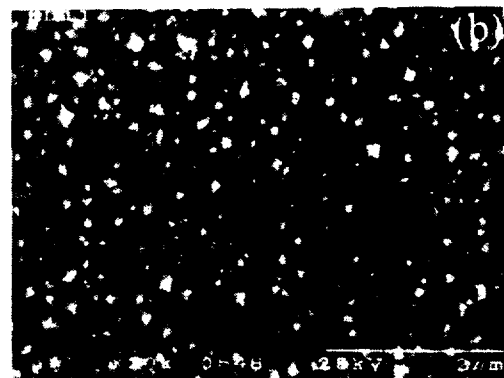
가 관측되었고, 1135cm^{-1} 에서는 broad한 피크가 나타난 것은 unsaturated polymer ring 또는 다이아몬드의 precursor 때문에 생기는 것으로 볼 수 있다. 이것은 다이아몬드 증착 시 흑연과 다이아몬드에 대한 수소원자의 etching 속도가 기판의 온도와 탄소원의 농도 비에 따라 나타나는 스펙트럼이다. 일반적으로 탄소원의 농도가 증가하면 흑연의 생성이 조장되거나 기상에 존재하는 원자상 수소의 상대적인 양이 감소하므로 원자상 수소에 의하여 다이아몬드와 non-diamond 성분의 제거속도도 감소하고 기판의 온도가 고온(900°C)일 때에는 흑연의 제거속도가 증가되므로 다이아몬드 박막의 순도가 향상되기 때문에 diamond 박막이 형성된다. 이상의 XRD와 Raman 스펙트럼의 결과에서 탄소원이 CH_4 의 농도가 1.5%일 때 가장 우수한 다이아몬드 박막이 형성됨을 알 수 있다.

탄소원과 농도의 변화에 따른 다이아몬드 형태변화를 조사하기 위하여 다이아몬드 박막의 표면형상과 입자의 모양을 SEM으로 관찰하였다. 또한 관찰된 다이아몬드 박막의 표면형상과 입자의 모양 변화로부터 박막과 표면형상 및 박막을 구성하는 입자들의 모양과의 상호관계에 대하여 조사하였다.

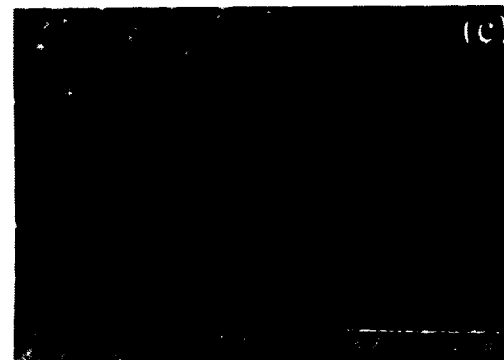
그림 3은 CH_4 의 농도를 1.5%, 2.0%와 3.0%로 변화시킨 다이아몬드 박막의 표면 morphology 이다. 증착 시간은 9 시간으로 하였으며 다이아몬드 박막의 입자크기가 대체적으로 $1\mu\text{m}$ 이하로 나타났다. 농도가 1.5%와 2.0%인 시료(그림 3-(a)와 (b) 참조)는 octaheron 구조의 $\{111\}$ 면과 cauliflower 형태와 공존하는 것으로 나타났다. 여기서 cauliflower는 octahedron의 $\{111\}$ 면에 작은 입자의 형태로 붙어 있다. 그러나 그림 3-(c)의 cauliflower



(a) 1.5%



(b) 2.0%



(c) 3.0%

Fig. 3 SEM morphology of the diamond films deposited as function of the flow rate ratio of CH_4 and H_2 mixture gases. (a) $\text{CH}_4 = 1.5\%$, (b) $\text{CH}_4 = 2\%$, and (c) $\text{CH}_4 = 3\%$.

시료에서는 박막표면이 octahedron 구조보다 형태가 더 많아 뚜렷한 결정 형상을 나타내고 있지 않다. 이러한 현상은 기판의 온도에 의하여 일어나는 것이다. 일반적으로 CH_4 탄소원에 의하여 형성되는 다이아몬드 박막은 기판의 온도에서 따라 결정면의 배향과 입자의 크기가 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다. 이상의 연구 결과로부터 CH_4 탄소원의 농도가 1.5%일 때 균질의 다이아몬드 박막이 형성됨을 알았다. SOD 구조형성에서 가장 중요한 것은 diamond/Si와 poly-Si/diamond 구조의 계면이다. 이 분석에서 사용된 CH_4 탄소원의 농도가 1.5%로 형성된 박막을 SEM으로 분석하였다. 이 농도의 비는 XRD, Raman과 SEM morphology 분석결과에서도 가장 양호한 박막이 형성된 것으로 나타났다. 그림 4는 CH_4 탄소원의 농도가 1.5%로 했을 때 형성된 diamond/Si 구조의 SEM 단면사진이다. diamond/Si 구조의 계면은 명확하게 구분이 잘 되지 않았으며(그림 4-(a) 참조), 표면의 거칠기는 비교적 양호하였고, void는 없었다. 이것은 다이아몬드 입자의 핵형성밀도가 높기 때문이다. 박막의 두께는 약 $1.7\mu\text{m}$ 로 균일하게 형성되었고, 다이아몬드 박막의 입자는 덜 발달된 모양으로 박막이 형성된 것으로 보였다. 그림 4-(b)는 다이아몬드 분말로 기판 Si의 표면을 전처리하는 대신 SiC 박막을 약 80 Å의 두께로 에피택셜 성장한 후 CH_4 탄소원의 농도를 1.5%로 하여 형성된 diamond/Si 구조의 SEM 단면사진이다. 에피택셜 성장된 SiC 층은 다이아몬드 박막 증착시 기판의 온도에 영향을 받아 응집현상이 나타났으며, 계면에서는 화살표로 표시된 부분에 void가 생겼다. 증착 초기의 핵형성 밀도는 이와 같은 void가 형성된 것은 SiC 층이 응집현상에 의

하여 일어난 것으로 생각된다. 박막은 대체적으로 약 $1.7\mu\text{m}$ 의 두께로 균일하게 형성되었고, 계면은 평활하였으며, 표면의 거칠기는 양호하였다. 또 형성된 박막은 주상성장됨을 보여 주고 있다.

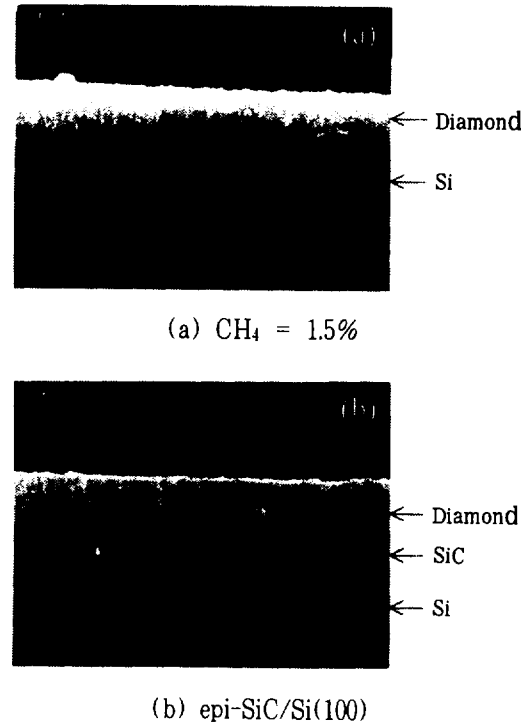
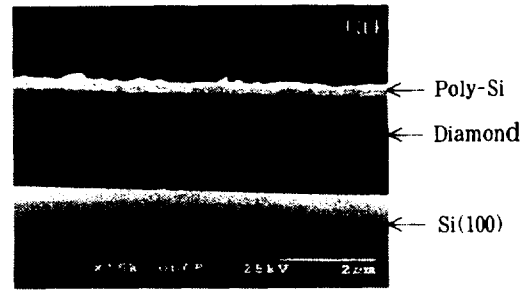


Fig. 4 SEM cross-section of the diamond film on Si(100) substrate: (a) diamond/Si(100) and (b) diamond/SiC/Si(100).

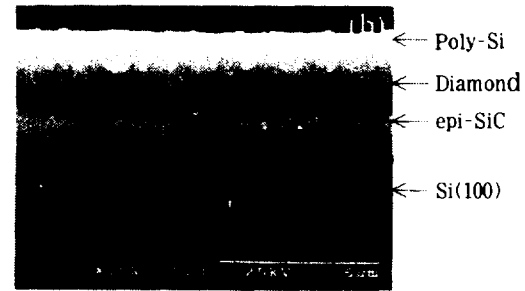
그림 5는 SOD 구조의 SEM 단면 사진이다. 다이아몬드 박막 형성은 CH_4 탄소원의 농도를 1.5%로 하여 $2\mu\text{m}$ 의 두께로 증착하였고, poly-Si의 증착은 LPCVD 방법으로 다이아몬드 박막 표면에 약 2300\AA 으로 증착하였다. 그림 5-(a)는 기판 Si 표면 위에 다이아몬드를 증착하고 poly-Si를 형성한 SOD구조이다. 측정된 다이아몬드 박막과 poly-Si의 두께는 증

착된 값과 거의 비슷하였다. 그림 4-(a)에서 논의된 결과와 같이 다이아몬드 박막의 표면이 매끈하기 때문에 증착된 poly-Si의 박막층도 균일한 두께로 형성되어 있다. 그러나 사진에서 화살표로 표시된 부분처럼 일부 poly-Si/diamond 계면 영역에서는 다이아몬드 입자와 입자들 사이에 함몰된 부분에 poly-Si가 채워져 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상으로 인하여 poly-Si/diamond 계면 영역에 void가 형성되지 않은 것으로 생각된다. 그림 5-(b)는 기판 diamond/epi-SiC/Si(100) 구조의 기판위에 poly-Si를 형성시킨 SOD 구조의 SEM 단면사진이다. 그림 5-(a)와 같이 poly-Si/diamond 계면 영역에 void가 생기지 않았고, 나타난 현상도 비슷하였다. 따라서 이들 두 기판에 대한 poly-Si/diamond 계면현상은 변화가 없었다. 그림 4와 비교하여 볼 때 epi-SiC/Si(100) 기판에 대한 효과는 SOD 구조에서 크게 나타나지 않았다. 다만 다이아몬드 박막의 결정성과 부착성에 좋은 효과가 있는 것으로 나타났다.

SOD 구조에서 다이아몬드 박막은 우수한 절연특성을 갖기 위해서는 유전상수가 낮아야 한다. 따라서 형성된 다이아몬드 박막은 C-V와 I-V의 특성조사로 유전상수, 누설전류, breakdown voltage 등을 조사하였다. 이 특성조사에서 다이아몬드 박막을 MIS 구조로 형성하였으며, 전극은 Al으로 증착하였고, 특성조사시 상부 전극에는 Pt 탐침을 이용하여 오음성 접촉을 시켰다. 전극의 단면적은 0.0025cm^2 로 dot 마스크를 이용하였다. 그림 6은 탄소원은 $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ 이고, CH_4 의 농도를 1.5%로 형성된 박막에 대하여 주파수는 1MHz, 인가전압은 -20V에서 20V까지 걸어 주었을 때 측정된 C-V 특성곡선이다. 사용된 시료의 두



(a) poly-Si/Diamond/Si(100)



(b) poly-Si/Diamond/epi-SiC/Si(100)

Fig. 5 SEM cross-section of the SOD structure: (a) poly-Si/diamond/Si(100) and (b) poly-Si/diamond/SiC/Si(100).

께는 약 $1.80\mu\text{m}$ 였다. 측정된 정전최대용량은 7.87pF 로서 계산된 유전상수는 5.8로 주어졌다. 이 시료의 계면전하 밀도는 $2.2 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ 로 주어졌다. C-V 특성측정시 sweep up과 down 과정동안 diamond/Si 계면에서 전하가 축적된다. 따라서 계면영역에 존재하는 전하밀도의 분석은 $N_i = (C_a V_h) / (qA)$ 식에 의하여 sweep up과 down에서 일어나는 hysteresis 곡선의 전압 폭으로부터 계산된다. 여기서 C_a 는 축적영역의 정전용량, V_h 는 sweep up과 down에서 일어나는 hysteresis 곡선의 전압폭, q 는 단위전하량 그리고 A 는 전극의 단면적이

다. 이들 식으로부터 계산된 전하밀도는 $8.2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 으로 주어졌다. 이 전하밀도는 낮은 값으로서 전장에 의한 분극현상이 잘 일어나지 않는다. 여기서 측정된 유전상수 값은 일반적으로 알려진 다이아몬드 유전상수 값 5.5~5.7 과 비슷하고 보고된 gate-diamond-Silicon capacitor 구조에서의 유전상수 6.0보다 낮은 값이며, SOI 구조에서 사용되고 있는 SiO_2 박막의 유전상수 4.5 보다는 약간 높은 값이다. 따라서 본 연구에서 제작된 다이아몬드 박막은 우수한 절연체임을 알 수 있으며, 집적회로 소자에 SOD 구조로의 적용이 가능하다는 것을 알 수 있다.

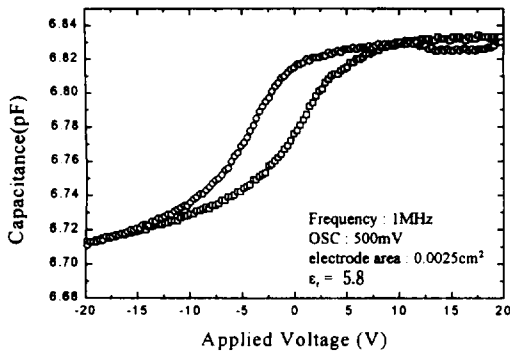


Fig. 6 C-V characteristics of the diamond film deposited at the flow rate ratio of $\text{CH}_4 = 1.5\%$.

그림 7은 그림 6의 시료에 대한 I-V 특성곡선을 나타낸 것이다. 시료에 대한 인가전압은 0V에서 100V까지 인가하였고, 누설전류의 밀도는 3V의 인가전압에서 측정하였다. 인가한 전압영역에서는 누설현상이 나타나지 않았으며, breakdown 현상도 없었다. 누설전류의 밀도는 약 $1 \times 10^{-9} \text{A/cm}^2$ 으로 측정되었다. 약 35와 55V에서 약간 불안정한 곡선을 보였다. 이것은 불안정한 전극의 영향으로 생각된다. 인

가전압을 100V까지 걸어 주어도 breakdown 현상이 일어나지 않는 것으로 보아 다이아몬드 박막이 모두 결정화 되었고, 핀-홀이 없는 것으로 생각된다. dielectric breakdown 전압은 약 1MV/cm 이상인 것으로 생각된다.

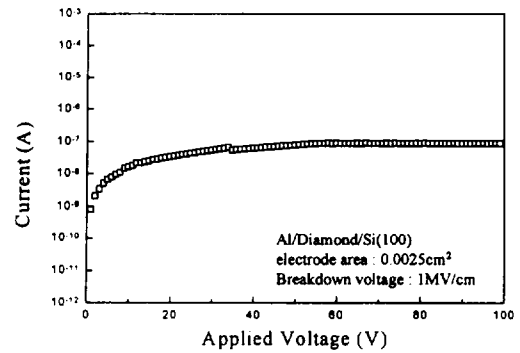


Fig. 7 I-V characteristics of the diamond film deposited at the flow rate ratio of $\text{CH}_4 = 1.5\%$.

그림 8은 그림 6의 시료에 대한 다이아몬드 박막의 온도에 따른 비저항을 나타낸 것이다.

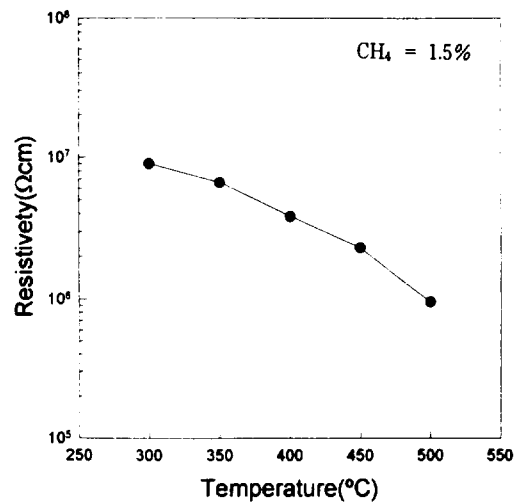


Fig. 8 Resistivity of the diamond films with temperature.

실온에서는 비저항이 약 $3.8 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 였으나 온도가 증가함에 따라 감소하여 500°C에서는 비저항값이 약 $2.3 \times 10^6 \Omega \text{cm}$ 로 주어졌다.

4. 결 론

SOD 구조형성에 따른 다이아몬드 박막은 CH₄ 탄소원의 농도에 따라 마이크로파 화학 기상 증착법으로 형성하였고, SOD 구조형성은 형성된 diamond/Si(100) 기판위에 LPCVD 법으로 poly-Si 증착으로 제작하였다. 이렇게 제작된 시료에 대한 다이아몬드 박막의 결정성, 표면상태 그리고 전기적특성과 SOD구조의 계면상태 등의 결과는 다음과 같다.

1) CH₄ 탄소원의 농도가 1.5%와 1.1% 때 양질의 다이아몬드 박막이 형성되었고, 주결정상은 (111) 면으로 나타났다. Raman 스펙트럼에서 CH₄ 탄소원의 농도가 1.5%, 2%에서 형성된 다이아몬드 박막은 1332cm^{-1} 에서 다이아몬드 박막 피크만 보였으나 농도가 3%인 시료에서는 1475cm^{-1} 와 1547cm^{-1} 에서 비정질 carbon과 non-diamond 박막의 피크가 관찰되었다.

2) epi-SiC/Si(100) 기판위에 형성된 다이아몬드 박막은 Si(100) 기판을 다이아몬드 분말로 전처리한 후 형성된 다이아몬드 박막 보다 결정성이 더 우수하였다.

3) poly-Si/diamond/Si(100)와 poly-Si/diamond/epi-SiC/Si(100)의 SOD 구조에서 각 계면현상에 대한 변화는 없었으나 다이아몬드 박막의 결정성과 부착성에는 epi-SiC/Si(100) 구조의 기판이 더 우수한 것으로 나타났다.

4) CH₄ 탄소원의 농도가 1.1%로 형성된 다이아몬드 박막의 유전상수는 3.5로 주어졌으

며, 누설전류는 $1 \times 10^{-9} \text{A/cm}^2$ 였고, 인가전압을 100V까지 인가하여도 breakdown현상은 일어나지 않았다.

5) CH₄ 탄소원의 농도가 1.5%로 형성된 박막이 실온에서는 비저항이 약 $3.8 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 였으나 온도가 증가함에 따라 감소하여 500°C에서는 비저항값이 약 $2.3 \times 10^6 \Omega \text{cm}$ 로 주어졌다.

이상의 결과에서 SOD 구조 형성에 따른 다이아몬드 박막은 CH₄ 탄소원의 농도가 1.5% 일 때 양질의 다이아몬드 박막이 형성됨을 알았고, 기판은 다이아몬드 분말로 전처리하는 것 보다 epi-SiC/Si(100) 기판을 사용하는 것이 우수한 다이아몬드 박막이 형성됨을 알았다.

참 고 문 헌

1. G. Davies, *The Properties of Diamond* (Academic Press, London, 1979), Chap. 5.
2. H. Shiomi, Y. Nishibayashi, and N. Fujimori, *Jpn. J. Appl. Phys.* 28, L2153 (1989).
3. K. Shenai, R. S. Scott, and B. J. Baliga, *IEEE Trans. Electron Devices*, 36, 1811 (1989).
4. M. I. Land strass and D. M. Fleetwood, *Appl. Phys. Lett.* 56, 2316(1990).
5. B. V. Spitsyn, L. L. Bouilov and B. V. Derjaguin, *J. Cryst. Growth*, 52, 219(1981).
6. J. C. Angus and C. C. Hayman, *Science* 241, 913(1998).
7. K. Kobashi, K. Nishimura, Y. Kawata, and T. Horiuchi, *Phys. Rev.* B38, 4067

- (1988).
8. R. Messier, J. Vac. Sci. Technol. A4, 490 (1986).
 9. B. R. Stoner and J. T. Glass, Appl. Phys. Lett. 60, 698(1992).
 10. X. Jiang and C. P. Klages, Diamond & Relat. Mater. 2, 1112(1993).
 11. P. O. Joffreau, R. Haubner, and B. Lux, Mater. Res. Soc. EA-15, 15(1988).
 12. T. Srivinyunon, R. Philips, C. Cutshaw, A. J. Joseph, and Y. Tzeng, *Proc. of the 2nd International Conference on New Diamond Science and Technology*, Material Research Society, 581(1991).
 13. G-H. M. Ma, Y. Hirose, S. Amanuma, M. McClure, J. T. Prater, and J. T. Glass, *Proc. of the 2nd International Conference on New Diamond Science and Technology*, Material Research Society, 587(1991).
 14. S. Koizumi, T. Murakami, T. Inuzuka, and K. Suzuki, Appl. Phys. Lett. 57, 563 (1990).
 15. W. A. Yarbrough, J. Vac. Sci. Technol. A9, 1145(1991).
 - N. Fujimori, T. Imai, H. Nakahata, H. Shiomi, and Y. Nishibayashi, Mater. Res. Soc. Proc. 162, 23(1990).
 16. T. Tsuno, T. Imai, Y. Nishibayashi, K. Hamada, and N. Fujimori, Jpn. J. Appl. Phys. 30, 1063(1991).
 17. H. G. Maguire, H. Kamo, H. P. Lang, E. Meyer, K. Weissendanger, and H. J. Guntherodt, Diamond & Relat. Mater. 1, 634(1992).
 18. L. F. Sutcu, M. S. Thompson, C. J. Chu, R. H. Hauge, J. L. Margave, and M. P. D'Evelyn, Appl. Phys. Lett. 60, 1685 (1992).
 19. A. Argoitia, J. C. Angus, L. Wang, X. Ning, and P. Pirouz, J. Appl. Phys., 73, 4305(1993).
 20. A. Argoitia, J. C. Angus, J. S. Ma, L. Wang, P. Pirouz, W. R. L. Lambrecht, J. Mater. Res., 9, 1849(1994).