

<연구논문>

수소함유 다이아몬드 박막과 MS 및 MIS 다이아몬드 다이오드의 전기적 특성

이철로 · 임재영 · 천병선*

한국표준과학연구원 반도체박막그룹
*충남대학교 급속응고신소재연구소(ERC)
(1994년 2월 4일 접수)

The Electrical Properties of Hydrogenated Diamond Thin Film, MS and MIS Diamond Diodes

C. R. Lee, J. Y. Leem and B. S. Chun*

Korea Research Institute of Standards & Science, Electronic Thin Film Science Lab.
*Chungnam National University, RASOM (ERC)
(Received February 4, 1994)

요 약 - 기전력 증가에 따라 균일 두께로 4종류 다이아몬드 박막을 성장하였다. 이들에 대해 성장 직후 및 진공소둔 후 전기전도도를 조사한 결과 성장 중 기전력이 증가하면 다이아몬드 결정내에 원자상 수소의 혼입이 증가되어 높은 전기전도도를 나타낸다. 고진공소둔에 의해 탈가스를 하면 원자상 수소가 제거되어 전기전도도를 감소시킬 수 있다. 그러므로 다이아몬드 박막을 유전체 박막에 응용하기 위해서는 진공 탈가스가 필요하다. MS 및 MIS구조 다이아몬드 다이오드를 제조하여 정류특성을 평가한 결과 저농도 MS구조는 극히 낮은 정류특성을 나타내며 고농도는 Ohmic 거동을 하였다. MIS구조에서는 저농도 및 고농도 모두 우수한 정류특성을 나타냈다. 그러므로 다이아몬드 박막으로 MIS구조에 의한 다이오드를 제조하므로써 고속, 고출력 전자소자 및, 고온, 고방사, 원자로, 우주 등 열악한 환경하에서 사용될 수 있는 전자소자의 가능성이 높다고 사료된다.

Abstract - Four kinds of diamond thin film of same thickness were grown as the potential between substrates and filament increases. The electrical conductivity increase as the potential increases due to the increment of atomic hydrogen content in the films. But it is possible to decrease the electrical conduction for using it to dielectric film by degassing of atomic hydrogens in high vacuum. The MS and MIS diamond semiconductor diodes were made with Schottky and Ohmic contacts in order to evaluate the rectifying characteristics. High and low doped MS diodes showed Ohmic behavior and low rectification respectively. But both high and low doped MIS diodes showed the excellent rectifying behaviors. Therefore, it is possible to obtain the MIS diode having excellent rectifying behavior using diamond thin film usable under high temperature, high radiation, nuclear reactor, bad environmental condition and etc.

1. 서 론

최근 통신분야, 첨단 자동차, 우주망원경, 우주선, 인공위성, 첨단군사장비, 원자로 등의 과학 및 산업 분야에서는 기존의 전자소자보다 고속(high speed), 고출력(high power)이면서 고온, 방사선 및 부식성

분위기 등의 열악한 환경하에서 작동되며 고절연성과 고열전도도 등 특성을 동시에 갖춘 광전자 반도체 소자(device) 개발의 요구와 필요성이 급증[1]하고 있다. 이와 동시에 광전자 분야(optoelectronics)에서는 파장이 400~500 nm인 청색(blue) 발광소자(LED)의 확실한 개발 및 등장을 요구[2-4]하고 있다. 이러한

요구에 기대되는 반도체가 넓은 에너지 대(energy band)를 가진 반도체(wide band gap semiconductor)이며 III-V족의 GaN, Al_xGa_{1-x}N, cBN, InN, BP와 II-VI족의 ZnS, ZnSe 및 다이아몬드, SiC, B_{1-x}C_x 등이 있다. 다이아몬드는 이들 중에서도 전자소자로의 응용 가능성이 높은 것으로서 천연 다이아몬드 단결정은 넓은 에너지 대, 고열전도도, 높은 파괴전압(break-down voltage) 등의 우수한 전기적 특성[2, 5-9]으로 인하여 고온, 고방사(high radiation) 등의 극한 환경 하에서의 전자소자 또는 450~500 nm인 청색발광소자 등에 응용될 수 있는 재료이다.

이렇듯 우수한 반도체 성질의 다이아몬드를 전자소자(electronic device)화하여 응용하기 위해서는 박막 형태의 성장이 필수불가결하다. 즉 기존의 Si이나 GaAs 등의 반도체 위에 성장되어야만 접합(junction)에 의해서 발광 다이오드(LED), 레이저 다이오드(LD), 트랜지스터 및 집합회로(IC) 등의 전자소자에 응용할 수 있다. 그리고 더욱 고성능 다이아몬드 반도체를 위해서는 다른 반도체 위에 천연 다이아몬드와 같은 단결정 박막의 성장(heteroepitaxial growth)[10]이 실현되어야 한다. 그러나 다결정 박막에 의해서도 다이아몬드의 특출한 반도체적, 물리적 성질 때문에 전자소자 응용에 대한 연구[11-17]는 활발하게 계속되고 있다.

본 연구에서는 첫째, EACVD에 의해 기전력 증가에 따라 Si 위에 동일 두께로 성장된 4종류 다이아몬드 박막의 전기전도도를 조사하였다. 즉, EACVD에 의한 성장시 원자상 수소가 성장하는 다이아몬드 박막내에 함유될 수 있으며, 이 농도는 기전력 증가에 따른 인력(attraction)의 증가로 인하여 증가한다. 이러한 수소는 일종의 도핑효과(doping)를 초래하여 박막의 전기적 특성을 변화시킨다. Si 반도체에서도 이 수소원자는 pn 접합의 누수전류(leakage current)를 감소시키고 도너(donor)와 억셉터(acceptor) 및 점결합 등을 능동화(passivation)한다[18-21]. 이러한 현상은 III-V족 화합물 반도체에서도 발견되는데 다결정 초격자(super lattice)와 양자우물(quantum well)에서 점결합 등을 능동화한다[22, 23]고 알려져 있다. 그리하여 본 실험에서는 다이아몬드 박막에 대해 성장 직후 및 고진공소둔 후에 각각 Schottky-Ohmic 접촉을 하여 전류-전압 측정에 의한 전기전도도를 평가함으로써 이들 원자상 수소가 미치는 영향을 조사하였다. 둘째,

4종류 박막 중에서 가장 우수한 전기적 특성을 나타내는 박막 성장조건을 채택하여 반응가스 중에 도핑가스 혼입에 의한 p-형 다이아몬드 반도체를 성장하였다. 이 p-형반도체에 Schottky-Ohmic 접촉에 의한 MS구조(metal-semiconductor structure) 다이오드와 도핑된 다이아몬드 박막(doped diamond thin film) 위에 도핑이 안된 다이아몬드 박막(undoped diamond thin film)를 성장하여 MIS구조 다이오드를 제조한 후 정류특성(rectifying characteristics)을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. Bias 증가에 따른 균일두께 박막의 성장

다이아몬드 박막은 HFCVD(hot filament chemical vapour deposition)와 동시에 Si기판에 양(+) 직류전압(positive bias)을 가하여 성장속도를 높일 수 있는 EACVD(electron assisted CVD)를 이용하여 성장하였다. 일정비의 수소와 메탄의 혼합가스가 텅스텐 필라멘트 앞에 있는 노즐을 통하여 반응조내로 유입된다. 몰리브덴 히터는 Si기판 홀더 역할과 기판온도 제어를 위한 발열체 역할을 한다. 직류전압조절기(DC power supply)에 의해 Si기판에 양 인가전압, 텅스텐 필라멘트에 음 인가전압을 가하므로써 활성 탄화수소이온(C_mH_n⁻) 에너지를 제어한다. 메탄과 수소의 혼합가스는 필라멘트에 의해 열분해되는데, 수소분자 중 일부는 H, H⁺, H⁻로 분해되며 이러한 원자상의 수소에 의하여 탄소가 sp² 결합 및 sp³ 결합을 하지만 성장되는 박막내에 함유되기도 한다. Table 1은 기판에 가해지는 양 인가전압이 0 V(A-박막), 60 V(B-박막), 120 V(C-박막), 180 V(D-박막) 변화, 즉 전체 기전력이 20 V(A-박막), 80 V(B-박막), 120 V(C-박막), 200 V(D-박막)까지 증가에 따른 성장조건을 나타낸다. 균일두께 성장을 위한 성장시간과 기전력 이외에 필라멘트 온도, 기판온도, 반응압력, 기판-노즐간 거리, 필라멘트 바이어스, 100 sccm 수소 중의 CH₄ 유량 등은 각각 2000°C, 850°C, 70 torr, 30 mm, -20 V, 1.0 sccm 등이다. 4종류의 박막 두께가 약 2 μm로 균일하게 하기 위해 예비실험을 통하여 기전력 20, 80, 140, 200 V에 상응하는 성장시간을 각각 360, 330, 270, 180 분으로 변화시켜 가면서 행하였다.

2.2. 표면, 단면 및 내부의 거시적 결합 관찰

Table 1. Growth conditions for uniform thickness according as the potentials between filament and substrate increases

Filament Temperature (°C)	2000
Substrate Temperature (°C)	850
Pressure (torr)	70
Growth Time (min)	A=360, B=330 C=270, D=180
Substrate Material	p-Si(100)
Distance(Nozzle-Substrate) (mm)	30
Filament Bias (V)	-20
CH ₄ in 100 sccm H ₂ (sccm)	1.0
Substrate Treatment	1 μm Dia, P. T.
Potentials (V)	A=20, B=80 C=140, D=200

균일두께로 성장된 4종류의 다이아몬드 박막의 표면 미세구조와 절단된 단면의 성장두께를 관찰하기 위하여 주사형 전자현미경을 이용하였다. 또 성장된 각 박막 내부의 공극(void) 등과 같은 거시적 결함의 크기 및 분포를 조사하기 위하여 당김 시험(Pull test)에 의해 다이아몬드 박막층을 Si기판으로부터 파괴시킨 후 분리된 박막의 파면층을 주사형 전자현미경에 의해 조사하였다.

2.3. 수소함유 다이아몬드 박막 및 Schottky-Ohmic Contact

각각 일정시간 동안 기전력 증가에 따라 성장된 다이아몬드 박막의 전기전도도 조사하기 위하여, Fig. 1과 같이 p-Si(100) 기판 위에 2 μm 두께로 성장된 다이아몬드 박막표면과 p-Si기판 아래에 각각 고순도 금을 열증착(thermal evaporation)하므로써 Schottky 및 Ohmic 접촉[24-26]을 하였다. 금속-반도체 접합의 Schottky 접촉을 위하여 열증착시에 직경 1 mm 구멍의 마스크(mask)를 이용하여 직경이 1 mm, 두께가 0.2 μm인 금박막을 다이아몬드 박막 위에 성장하였다. p-Si(100)의 아래에도 전면적에 저항이 극히 적은 고순도 금을 열증착하므로써 Ohmic 접촉을 하였다. 금 박막층(gold thin film layer) 지름이 다이아몬드 박막층 두께보다 커서 전류는 금접촉면적(3.14 mm²)을 통해서 흐른다.

2.4. MS 및 MIS 다이아몬드 다이오드 제조

본 실험에서 다이아몬드 박막을 이용하여 제조된

Au Schottky Contact (t=0.2 μm, D=1.0 mm)

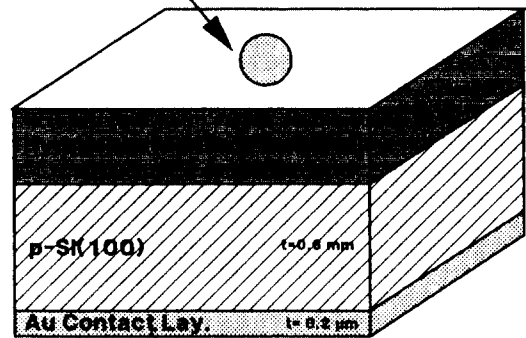
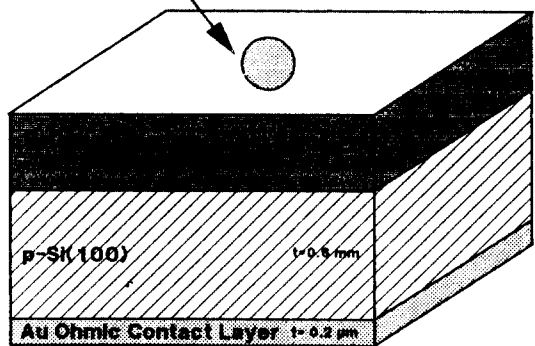


Fig. 1. Schottky and Ohmic contacts of hydrogenated diamond thin films for measuring the I-V.

Au Schottky Contact (t=0.2 μm, D=1.0 mm)



*** Doping Concentration(B/C Ratio)-- 1)500 ppm, 2)5000 ppm**

Fig. 2. The structure of MS diamond diode.

MS구조 다이오드[27]는 Fig. 2와 같다. 즉 Table 1의 4종류 박막 중에서 실험결과 낮은 공극율 등 미세구조적 특성이 가장 우수한 기전력 200 V(D-박막) 성장조건을 이용하여 반응가스 중에 B₂H₆ 도핑가스를 혼입하였다. B/C 비율(boron/carbon ratio)이 500 ppm 및 5000으로 혼입[28-30]하므로써 p-Si(100) 기판 위에 도핑농도가 서로 다른 2종류 p-형 다이아몬드 반도체를 두께 약 2 μm로 각각 성장하였다. 성장 후 다이아몬드 박막 표면에 직경 1 mm, 두께 0.2 μm의 고순도 금을 열증착하고, p-Si 밀면에는 전면적에 고순도 금을 두께 0.2 μm로 열증착하여 Schottky 및 Ohmic 접촉을 한 후 500 ppm 및 5000 ppm의 2종류 도핑농도에 따라 제조된 MS구조 다이아몬드 다이오드의 정류(rectification) 특성을 조사하였다.

MS 다이오드에서 정류작용이 좋지 않을 경우에는 MIS구조 다이오드를 제작하여 사용한다. 즉 MS 다이오드에서 캐리어들이 반도체-금속의 Schottky 장벽을 넘지 않고 통과하는 터널링 전류(tunneling current)로 인하여 정류작용을 하지 못할 때에 MIS구조 다이오드[31]를 사용한다. MIS구조 다이아몬드 다이오드[32, 33]는 Fig. 2의 MS 다이오드에서 boron 도핑된 두께 약 $2\ \mu\text{m}$ 의 다이아몬드 박막층 위에 약 $0.5\ \mu\text{m}$ 두께의 도핑이 안된 다이아몬드 박막을 성장한 후 Schottky 접촉을 하여 제조하였다. 이때 boron 도핑된 다이아몬드 층은 MS구조 다이오드와 같이 B/C 비율을 500 ppm 및 5000 ppm 혼입하므로써 p-Si (100) 기판 위에 도핑농도가 서로 다른 2종류 p형 다이아몬드 박막을 두께 $2.0\ \mu\text{m}$ 로 각각 성장하였다. 도핑이 안된 다이아몬드 박막층에 함유된 수소를 제거하기 위하여 6000°C , 1.0×10^{-8} torr 진공 중에서 1 시간 소둔 열처리한 후, Schottky 및 Ohmic 접촉을 하므로써 도핑농도 변화에 따른 2종류의 MIS구조 다이오드를 제조하였으며 이들의 정류특성을 조사하기 위하여 I-V 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 균일두께 박막의 표면, 단면 및 내부의 공극 분포

기전력 증가에 따라 성장된 다이아몬드 박막의 전기전도도를 조사하기 위해서는 4종류 박막이 모두 같은 단면적 및 두께를 가져야 한다. 그러므로 예비 실험을 통하여 각각의 기전력에 따른 균일두께 성장 조건을 구하였다. Fig. 3은 Table 1의 성장조건에 따라 두께 약 $2\ \mu\text{m}$ 로 균일 성장된 각 박막의 표면과 단면을 나타낸다. 기전력 20 V의 A-박막은 기전력 200 V의 D-박막에 비하여 결정립 크기가 약 2~3배 크다. 이러한 이유는 다음과 같다. 필라멘트와 Si기판 사이의 기전력 증가에 따라 열분해된 활성 탄화수소음이온(C_mH_n^-)들이 Si기판으로의 인력(attraction)이 증가한다. 그리고 높아진 에너지 상태의 열전자가 CH_4 와 충돌에 의해 CH_4 분해를 가속시킴으로써 단위면적당 핵생성 이온농도가 증가하게 되어 핵생성 속도가 빠르다. 결국 기전력 증가에 따라 핵생성 탄화수소음이온 농도가 증가하여 크기가 작은 결정립들이 빠르게 성장한다. Fig. 3에서 박막 표면 미세구조내의 단면사

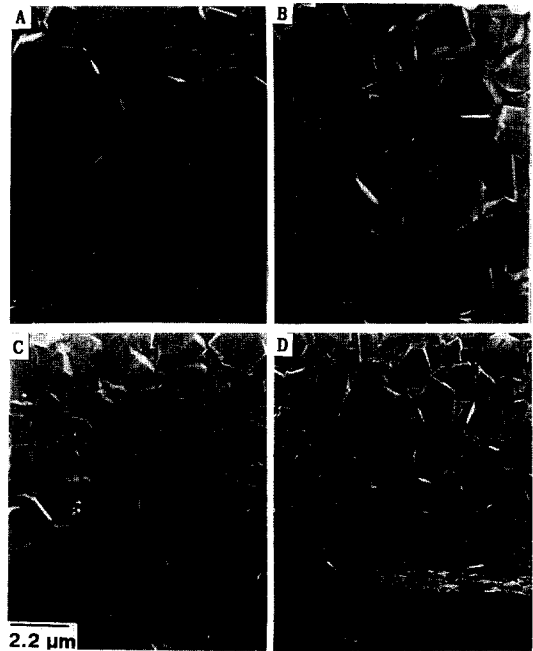


Fig. 3. Surface morphologies of four kinds of diamond thin films having same thickness as the potential increases during growth. (A) 20 V, (B) 80 V, (C) 140 V, (D) 200 V.

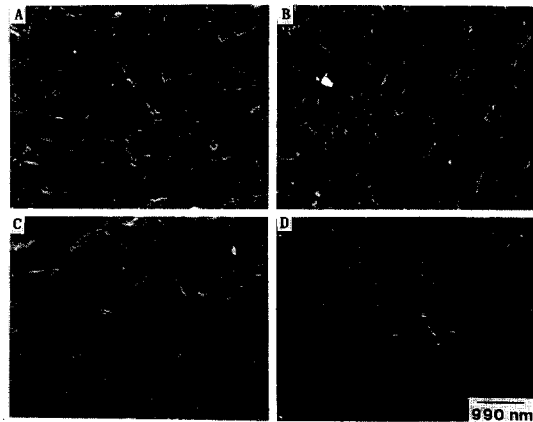


Fig. 4. The distributions of void in diamond thin films. (A) 20 V, (B) 80 V, (C) 140 V, (D) 200 V.

진은 두께 약 $2\ \mu\text{m}$ 의 D-박막 단면을 나타낸다.

Fig. 4는 균일 두께 성장된 각 박막을 당김 시험(Pull test)에 의해 Si으로부터 다이아몬드 층을 분리한 후 분리된 면을 주사형전자현미경으로 관찰한 것이다. 4종류 박막 중에서 성장기전력이 가장 적으며 결정립자 크기가 가장 큰 A-박막은 성장기전력이 가장 크고

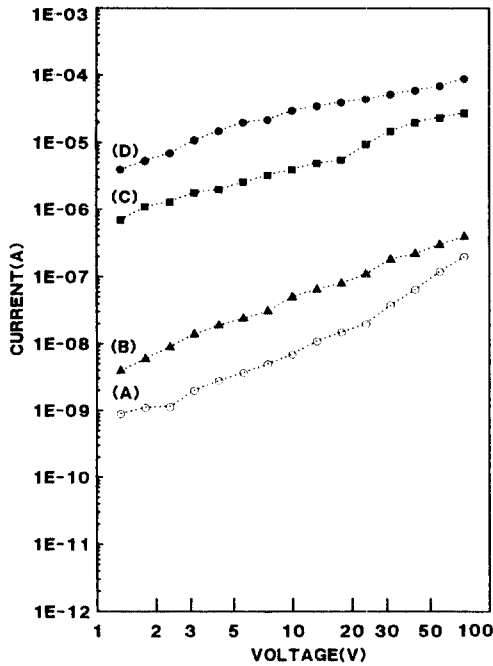


Fig. 5. The electrical conduction of hydrogenated diamond thin films after growth. (A) 20 V, (B) 80 V, (C) 140 V, (D) 200 V.

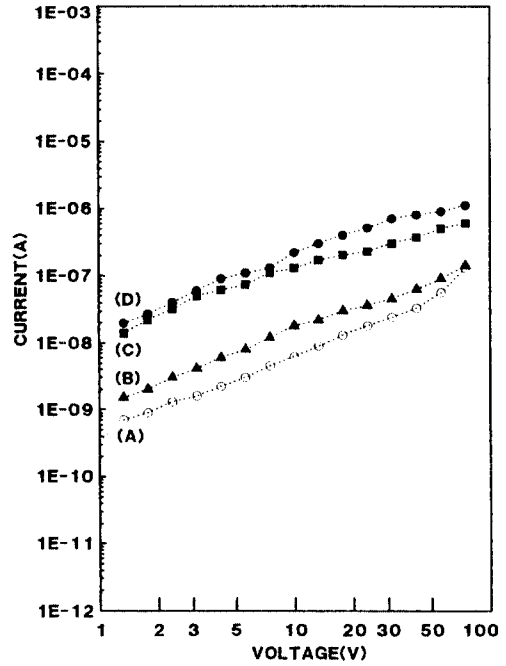


Fig. 6. The electrical conduction of hydrogenated diamond thin films after annealing in vacuum for degassing the atomic hydrogen. (A) 20 V, (B) 80 V, (C) 140 V, (D) 200 V.

결정립 크기가 가장 적은 D-박막에 비하여 공극 분포도가 높다. 이것은 액상에서 고상으로의 응고와는 달리 한정된 핵생성 장소와 한정된 이온농도에 때문에 성장하는 각 결정립자들 사이까지 충분한 결정립 성장 (grain growth)을 하지 못하였기 때문이다. 이러한 현상은 비교적 큰 분말(powder)만으로 성형(forming) 및 소결(sintering)할 때 나타나는 현상과 유사하다. 결국, 공극 분포도는 박막밀도와 관련되며 D-박막이 가장 치밀하고 밀도가 높은 박막이다.

3.2. 수소함유 다이아몬드 박막의 I-V 특성

Fig. 5는 기전력 증가에 따라 성장된 A-, B-, C-, D-박막의 전기전도도를 조사하기 위하여 I-V 특성을 측정한 것으로서 4종류 박막 모두가 선형적 I-V 특성의 Ohmic 거동을 나타내며 어떤 박막도 Trap Filling Limit(TFL) 현상은 발견되지 않았다. 성장기전력 증가에 따라 전기전도도가 상승하며 20 V일 때의 박막 즉 결정립자 크기 및 공극율(void fraction)이 가장 큰 A-박막의 전기전도도가 가장 적고, 200 V일 때의 박막 즉 결정립자 크기는 가장 작지만 공극이 거의 없이

치밀한 D-박막이 가장 크다. 이처럼 결정립자가 가장 작은 D-박막의 전기전도도가 가장 큰 이유는 2가지 이유 때문이라고 사료된다. 첫째는 D-박막이 결정립자 크기는 가장 작지만 B-, C-, D-박막에 비하여 공극이 거의 없는 치밀한 박막이기 때문이다. 공극은 전자나 홀(hole) 등의 캐리어 이동을 방해하는 trap 역할을 한다. 둘째는 다이아몬드 본드 박막 성장 중 운반가스인 수소가 열분해되어 H, H⁺, H⁻으로 이온화된 후 이들이 기전력 증가에 따라 이온에너지 상승 및 Si 기판으로의 인력증가에 따라 Si 위에서 성장되는 다이아몬드 결정내로 혼입되어져 전기전도를 하는 캐리어 역할을 하기 때문이다. 또 이러한 원자상의 수소는 성장기전력 증가에 따라 농도가 증가하기 때문에 성장기전력이 큰 박막일 수록 전기전도도가 증가한다. 이러한 이유는 Fig. 6의 결과와 함께 분석하면 더욱 확실하다.

Fig. 6은 4종류의 수소함유 박막을 약 6000°C, 1.0×10⁻⁸ torr 진공 중에서 1시간 소둔하여 박막을 탈가스(degassing)시킨 후에 측정한 I-V 특성이다.

A- 및 B-박막은 탈가스 후에 극히 적은 전기전도도 감소가 발생하였으나 C-박막은 가하는 전압 1.4 volt에 대해 성장 직후 7.0×10^{-6} 암페어에서 탈가스 후에는 약 1.3×10^{-7} 암페어로 감소하였으며 D-박막은 똑같은 전압에 대해 성장 직후 4.0×10^{-5} 암페어에서 탈가스 후에는 약 1.0×10^{-8} 암페어로 매우 많은 감소를 하였다. 이 결과로 보아 성장기전력 증가에 따라 원자상 수소가 성장되는 다이아몬드 결정내에 혼입되어 전기전도의 캐리어 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 그리고 탈가스 후에도 공극이 거의 없고 결정립자 크기가 작은 D-박막의 전기전도도가 A-박막의 전기전도도보다 다소 큰 이유는 A-, B-, C-박막이 D-박막에 비하여 결정립자 크기는 크지만 존재하는 공극들의 캐리어 트랩(carrier trap) 영향 때문이라고 사료된다.

Fig. 5와 6의 결과로 보아 성장기전력 증가에 따라 다이아몬드 결정내에 함유되는 원자상 수소의 농도는 증가하며 이 원자상 수소는 결정내에서 전기전도의 캐리어 역할을 한다. 그러므로 다이아몬드 박막을 유전체 박막으로 응용하고자 할 때에는 필히 성장 후 진공탈가스를 실시하여야 한다.

3.3. MS 및 MIS 다이아몬드 다이오드의 정류특성

다이오드의 정류특성을 나타내는 정류비(rectification ratio)는 다음과 같이 나타낸다.

$$\gamma = R_R / R_F$$

(순방향 및 역방향의 일정 전류하에서) (1)

$$= V_F / V_R$$

(순방향 및 역방향의 일정 전압하에서) (2)

여기서, γ = 정류비, R_R = 역방향 저항, R_F = 순방향 저항, V_F = 순방향 전압, V_R = 역방향 전압

Fig. 7은 B/C 비율이 500 ppm과 5000 ppm일 때 MS구조 다이오드 정류특성을 나타낸다. 500 ppm일 때에는 정류비가 약 2정도로서 정류작용이 극히 미약하며 5000 ppm일 때에는 Ohmic 접점 거동과 거의 같다.

Fig. 8은 B/C 비율이 500 ppm과 5000 ppm일 때 MIS구조 다이오드의 정류특성을 나타낸다. 500 ppm일 때에는 정류비가 증가하여 5 V에서 10^5 정도로 매우 크며 파괴전압(breakdown voltage)이 약 10 V 이상이다. 5000 ppm에서 정류비는 5 V에서 약 100 정도

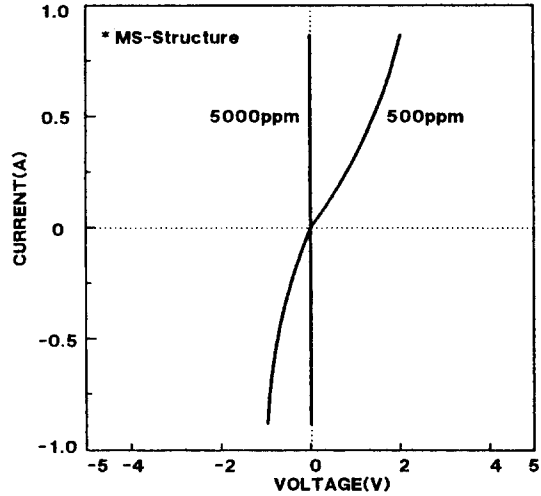


Fig. 7. The rectifying characteristics of MS diamond diodes (500 ppm, 5000 ppm).

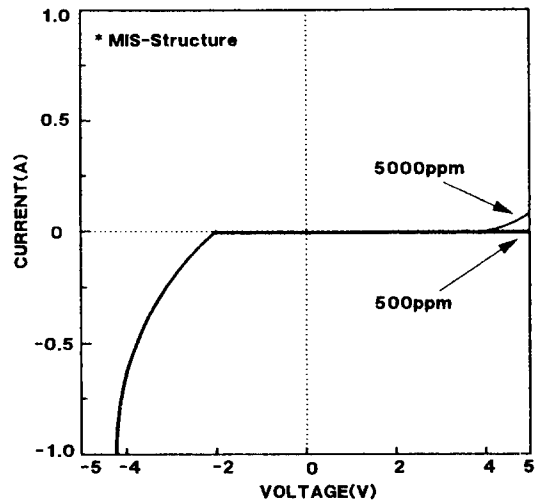


Fig. 8. The rectifying characteristics of MIS diamond diodes (500 ppm, 5000 ppm).

로써 다결정 다이아몬드 박막으로 만들어진 MIS구조 다이오드는 MS구조에 비하여 역방향 누설전류(reverse leakage current)를 감소시키며 정류작용이 우수하다.

도식적인 에너지 대로써 MS와 MIS구조 다이오드를 고찰하면 Fig. 9와 같다. p-형 반도체의 장벽 높이($e\phi_B$)는 금속(Au)의 일함수($e\phi_w$), 반도체의 전자친화력(x) 및 에너지 대에 의해서 결정된다. 금속과 반도체 접합에서 장벽높이($e\phi_B$)는 도핑농도와 관련이 없으나

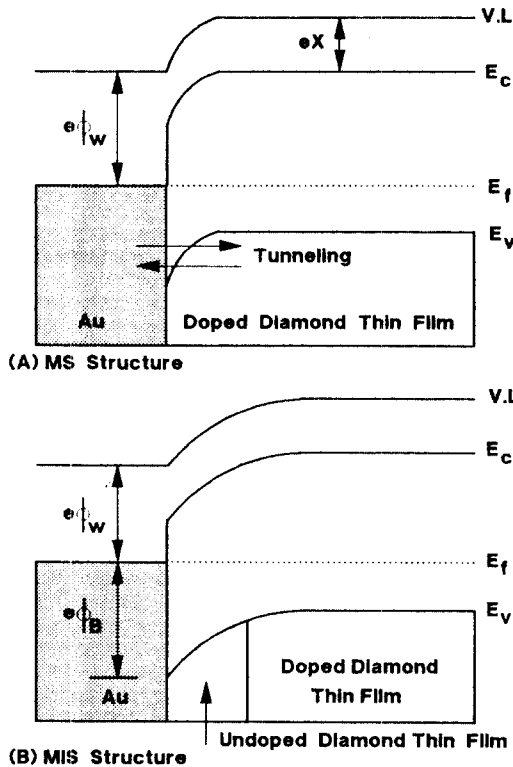


Fig. 9. Energy band diagrams of MS and MIS diodes.

공핍층(depletion layer) 두께는 캐리어 농도의 제곱근의 역에 비례하기 때문에 도핑농도가 높을 수록 얇다. 그러므로 MS구조 다이오드에서 공핍층은 B/C 비율이 500 ppm일 때가 5000 ppm일 때보다 두껍다. 결국 5000 ppm일 때가 500 ppm일 때보다 Fig. 9(a)에서 나타나는 캐리어 터널링(carrier tunneling)이 많이 발생되어 Ohmic 거동을 나타내고 500 ppm에서는 극히 낮은 정류거동을 나타낸다. 그러나 Fig. 9(b)에서 나타나듯 MIS구조 다이오드에서는 중간에 도핑이 안된 다이아몬드 층이 위치하여 공핍층을 넓게하므로써 통과하는 터널링 전류를 줄일 수 있다. 즉 도핑이 안된 다이아몬드 박막(0.5 μm)이 공핍층 역할을 하여 캐리어들이 통과할 가능성(probability)을 적게 하므로써 5000 ppm의 높은 도핑에서도 정류작용이 가능하다.

4. 결 론

기전력 증가에 따라 성장시간을 달리하여 균일두께

(2 μm)로 성장한 A-, B-, C-, D-박막의 전기전도도를 조사하고 MS 및 MIS구조 다이아몬드 다이오드를 성장제조하여 정류특성을 조사한 실험결과는 다음과 같다.

(1) 4종류 수소함유 다이아몬드 박막의 전기전도도는 성장 중 기전력이 가장 큰 D-박막이 가장 높고 기전력이 가장 적은 A-박막이 가장 낮다. 이것은 성장 중 분해된 원자상 수소가 다이아몬드 결정내에 혼입되어 전기전도의 캐리어 역할을 하며 이 농도는 기전력 증가에 따라 더욱 증가하기 때문이다.

(2) 4종류 박막을 1.0×10^{-8} torr, 6000°C 에서 1시간 소둔하여 원자상 수소를 탈가스한 후의 전기전도도는 전체적으로 많은 감소를 하였다. 결국 다이아몬드 박막을 유전체 박막에 응용하기 위해서는 진공탈가스를 필히 해야한다고 사료된다.

(3) D-박막 성장조건으로 MS구조 및 MIS구조 다이아몬드 다이오드를 제조하여 정류특성을 평가한 결과, MS구조 다이오드는 고농도 도핑에서는 Ohmic 거동과 거의 같고 저농도 도핑에서는 극히 낮은 정류특성을 나타낸다. 그러나 도핑이 안된 다이아몬드 박막층으로 공핍층을 넓게한 MIS구조 다이오드는 저농도 및 고농도 도핑에서도 우수한 정류특성을 나타내어 이것을 이용한 특수 전자소자의 가능성이 높다고 사료된다.

참고문헌

1. J. T. Glass, R. Messier and Fujimori, Diamond, SiC and Related Wide Band Gap Semiconductor, MRS, 8 (1990).
2. Yasushi Taniguchi and Masski Matsushima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **28**, L1848 (1989).
3. E. W. Chase, R. T. Hepplewhite, D. C. Krupka and D. Kahang, *J. Appl. Phys.* **40**, 2512 (1969).
4. T. Sujama, N. Sawara, K. Okamoto and Y. Hamakawa, *Jpn. J. Appl. Phys.* **21**, 383 (1982).
5. J. F. Prins, *Appl. Phys. Lett.* **41**, 950 (1987).
6. M. W. Geiss and D. D. Rathman, *IEEE-Electron Device Letter* **EDL-8**, 341 (1987).
7. K. Okano, H. Naruki and T. Kurosu, *Jpn. Appl. Phys.* **28**, 1066 (1989).
8. N. Fujimori, T. Imai and A. Doi, *Vacuum* **36**, 99 (1986).
9. 日本総合技術セント, 最新ダイヤモンド 薄膜技術

- 246 (1990).
10. Hadis Morkoc, *Vacuum* **42**(4), 257 (1991).
 11. Cheng Shichang and Fu Dejun, *Vacuum* **39**, 183 (1989).
 12. K. Noda, A. Nakajima and T. Itoh, *J. Appl. Phys.* **60**(4), 15 49 (1986); 1549 (1986).
 13. A. Sawabe and T. Inuzuka, *Thin Solid Film* **137**, 89 (1986).
 14. S. Y. Liao, *Microwave Devices and Ciccuits*, Prentice-Hall, 302 (1985).
 15. S. M. Sze and Gibbons, *Appl. Phys. Lett.* **8**, 111 (1966).
 16. V. K. Bazhenov and A. G. Gonar, *Sov. Phys. Semicond* **119**, 829 (1985).
 17. E. A. Konoirova, V. F. Sergienko and S. D. Tkachenko, *Sov. Phys. Semicond* **17**, 146 (1983).
 18. J. I. Pankove, M. A. Lampert and M. L. Tarng, *Appl. Phys. Lett.* **32**, 439 (1978).
 19. A. J. R. De Kock and H. J. Leamy, *Appl. Phys. Lett.* **27**, 313 (1975).
 20. S. J. Pearton and A. J. Tavendale, *J. Appl. Phys.* **54**, 1375 (1983).
 21. S. J. Pearton, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 253 (1982).
 22. E. M. Omeljanovsky, A. V. Parkhov and A. Y. Polyakov, *J. Electron Matt.* **18**, 659 (1989).
 23. R. Tsu, E. H. Nicolian and A. Reisman, *Appl. Phys. Lett.* **55**, 1987 (1989).
 24. K. L. Mozed and Richard Nguyen, *IEEE Electron Device Letter* **9**(7), 351 (1988).
 25. A. T. Collins, E. C. Lightowers and A. W. S. Williams, *Formation of Electrical Contact on Insulating and Semiconducting Diamond*, *Diamond Res*, 19 (1970).
 26. V. K. Bazhenov and A. G. Gontar, *Sov. Phys. Semicond* **19**, 829 (1985).
 27. J. W. Glessener, A. A. Morrish and K. A. Snail, *Appl. Phys. Lett.* **61**(4), 429 (1992).
 28. A. T. Collins, *Semicond. Sci. Tech.* **4**, 605 (1989).
 29. A. T. Collins and E. C. Lightowers, *The Properties of Diamond*, Academic Press, 80 (1979).
 30. K. Noda and A. Nakajima, *J. Appl. Phys.* **60**(4), 1540 (1986).
 31. L. Solymer and D. Walsh, *Lectures on the Electrical Properties of Materials*, Oxford Science Publications, 219 (1988).
 32. K. Miyata and D. L. Dreifus, *Appl. Phys. Lett.* **60**(4), 480 (1992).
 33. C. Gomez-Yanez and M. Alam, *J. Appl. Phys.* **71**(5), 2303 (1992).