

## AlN 버퍼층위에 증착된 다결정 3C-SiC 박막의 라만 산란 특성

### Raman Scattering Characteristics of Polycrystalline 3C-SiC Thin Films deposited on AlN Buffer Layer

정귀상<sup>1,a</sup>, 김강산<sup>1</sup>

(Gwiy-Sang Chung<sup>1,a</sup> and Kang-San Kim<sup>1</sup>)

#### Abstract

This paper describes the Raman scattering characteristics of polycrystalline (poly) 3C-SiC thin films, in which they were deposited on AlN buffer layer by APCVD using hexamethyldisilane (MHDS) and carrier gases (Ar+H<sub>2</sub>). When the Raman spectra of SiC films deposited on the AlN layer of before and after annealing were worked according to growth temperature, D and G bands of graphite were measured. It can be explained that poly 3C-SiC films admixe with nanoparticle graphite and its C/Si rate is higher than (C/Si  $\approx$  3) that of the conventional SiC, which has no D and G bands related to graphite. From the Raman shifts of 3C-SiC films deposited at 1180 °C on the AlN layer of after annealing, the biaxial stress of poly 3C-SiC films was obtained as 896 MPa.

**Key Words** : Raman scattering, Polycrystalline 3C-SiC, AlN buffer layer

#### 1. 서 론

최근 급속히 발전하고 있는 Si-M/NEMS는 Si의 1.1 eV의 낮은 밴드갭으로 인해 100 °C 전후 그리고 SOS와 SOI 구조의 경우는 300 °C까지 사용이 가능하지만, 집적화된 M/NEMS의 높은 발열 문제를 극복하기에는 그 한계가 있다. 이러한 Si-M/NEMS의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 우수한 물리적, 전기적, 기계적, 화학적, 광학적 특성뿐만 아니라 Si 미세표면가공기술을 이용할 수 있는 SiC-M/NEMS에 대한 관심이 증대되고 있다. SiC는 Si에 비해 밴드갭이 2~3배 이상 높고 열전도도가 3배가량 뛰어나 높은 한계 온도를 가지며 화학적 안정성과 내부식성, 내산화성이 매우 양호하기 때문에 극한 환경에서도 사용이 가능하다[1]. 또한, 3C-SiC는 벌크형태로 성장되는 4H, 6H와는 달리, Si 기판 혹은 절연막 위에 이종결정

성장된다. 이러한 이종결정성장의 구조는 박막의 두께제어가 쉽고 기판의 식각을 통한 3C-SiC 미세 구조물 제작이 용이하며, 박막의 뛰어난 기계적 특성으로 인해 RF 및 바이오용 M/NEMS로써 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

그러나, 3C-SiC를 Si 기판에 직접 이종결정성장할 경우 기판과 박막의 격자부정합(20 %)과 열팽창계수(8 %)의 차이로 인해 큰 스트레스가 발생하며 이것은 M/NEMS적용에 큰 문제요소가 된다[3]. 따라서, SiC와 Si 사이에서 발생하는 격자부정합과 열팽창계수의 차이에 의한 결함을 줄이기 위한 적합한 기판을 찾는 것이 고품질의 SiC 성장을 위해 대단히 중요하다.

일반적으로, SiO<sub>2</sub>가 전기적 절연과 쉬운 식각 특성으로 인해 기판으로 많이 사용되었지만, 최근 여러 반도체 물질중에서도 AlN이 고품질의 SiC 성장을 위한 기판으로의 관심이 증대되고 있다. AlN은 육방형의 구조이지만, SiC와의 격자부정합의 차이가 약 1 %밖에 나지 않기 때문에 SiC와 Si의 격자부정합에 의해 발생하는 스트레스를 크게 줄일 수 있다. 따라서, 스트레스의 감소로 인해 막질과 전기적 특성인 전하이동도의 향상을 기대

1. 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

(울산시 남구 무거2동 산29)

a. Corresponding Author : gschung@ulsan.ac.kr

접수일자 : 2008. 4. 7

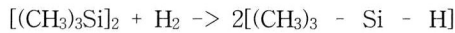
1차 심사 : 2008. 5. 20

심사완료 : 2008. 5. 23

할 수 있다. 전자이동도의 경우, 비저항과 큰 관련이 있으며 전자포화속도에 큰 영향을 준다. 높은 전자이동도는 낮은 비저항을 가지며 높은 전자포화속도를 가진다. 이러한 요소는 M/NEMS 적용시 매우 중요한 부분이다.

일반적으로 3C-SiC를 증착할 때 monomethylsilane (MMS, CH<sub>3</sub>SiH<sub>3</sub>), tetramethylsilane (TMS, Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>), methyltrichlorosilane (MTCS, CH<sub>3</sub>SiCl<sub>3</sub>), (0.02 mole % C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>+0.04 mole % SiH<sub>4</sub>), diethylsilane (DES, (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>SiH<sub>2</sub>), tripropylsilane (TPS, (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>3</sub>SiH), dimethyldichlorosilane (DMDS, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub>) 및 hexamethyldisilane (HMDS, Si<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) 등과 같은 전구체들을 이용하고 있다[4]. 그러나, Si와 C를 각각의 가스로부터 제공받는 경우 정확한 Si와 C비율의 제어가 어려우며 SiH<sub>4</sub>의 경우 폭발성이 높기 때문에 최근의 연구는 폭발성과 독성이 적으며 화학량론 제어가 쉬운 단일전구체를 사용하는 쪽으로 진행되고 있다[23].

양질의 SiC를 성장시키는데 있어서 전구체와 운반가스의 비는 아주 중요하다. 만약에 이 비의 차가 높으면 상대적으로 탄소 덩어리가 형성된다. SiC 결정을 성장시키는데 있어서 반응관에 H<sub>2</sub>와 HMDS 전구체 사이의 화학적 반응은 다음과 같이 주어진다.



여기서, n와 m은 정수들이고 n+m = 4이다[5]. 위의 화학적 반응식으로부터 HMDS 분자에 대한 C/Si의 조성비는 3이라는 것을 알 수 있고, 또한 C/Si 조성비가 3 정도라는 것은 라만 분석으로 증명되었다[6-8]. 일반적으로 C/Si 조성비가 3인 HMDS와 운반가스로 (H<sub>2</sub>+Ar)를 사용하는 것은 SiC 성장시 폭발성의 위험 때문에 이용한다. 그러나, SiC가 증착할 때 Ar 가스가 어떠한 역할을 하는지는 정확히 규명되지 않았다.

따라서, 본 연구에는 (H<sub>2</sub>+Ar) 분위기에서 비독성 전구체인 HMDS를 사용하여 APCVD법으로 다결정 AIN위에 성장시킨 다결정 3C-SiC의 화학적 C/Si 조성비를 분석했으며 또한, 비파괴적인 라만 산란으로 기계적 특성인 스트레스를 평가하였다.

## 2. 실험

본 연구에서 분석에 사용한 샘플은 먼저 Si(100) 기판위에 실온에서 800 - 850 Å/min의 성장속도를 가지고 있는 40 kHz 펄스 마그네트론 스파터링으로 두께 400 nm의 AIN 박막을 증착시켰다. 그 다음에 APCVD법으로 HMDS 단일 전구체를 이용하

여 다양한 증착온도에서 다결정 3C-SiC 박막을 성장했다[9]. 그러나, 3C-SiC를 성장하기 전에 Ar 가스로 반응관에 있는 불순물을 제거하였으며 실온에서 증착온도까지 올리는데 2분 정도 걸렸다. 그 후에 3C-SiC를 균일하게 증착시키기 위해서 반응관 내부 수정 튜브에 직사각형 (10 × 60 mm<sup>2</sup>)이 구성되어 있는 반응관으로 HMDS를 주입하였다. 이때 운반가스 Ar이 HMDS를 통해서 나가고 이 기체의 흐름 비는 질량흐름제어기로 제어된다. 적은 양의 H<sub>2</sub> 가스는 HMDS의 분해를 촉진하는데 사용하였다. 본 연구에서는 8 sccm HMDS와 운반가스 2 slm (10 % H<sub>2</sub>+Ar)을 적용하였다[10]. 이때 3C-SiC 박막의 성장속도는 0.9 μm/hr였다.

Renishaw Microscope 1000을 이용하여 라만 산란 측정은 실온에서 역산란 배열로 수행했다. 입사광의 초점은 1.5 mm 정도이고 배율이 20배인 현미경으로 산란된 빛을 모으는데 사용했다. 여기서, 사용된 입사광은 514.5 nm 파장을 가지고 있는 Ar 이온 레이저였다.

## 3. 결과 및 고찰

다결정 3C-SiC와 AIN의 계면에 기계적 특성을 분석하기 위해서는 완충층으로 AIN를 이용하기 전에 이것의 표면 거칠기가 중요하므로 AFM으로 AIN 표면을 조사한 결과 9.3 nm의 표면 거칠기를 얻었으며 이것은 매우 작은 값이기에 SiC와 AIN 계면의 void가 거의 발생하지 않을 것이다. 그러나, SiC와 AIN의 증착온도에 대한 갭이 크므로 실온에서 펄스 마그네트론 스파터로 성장된 AIN 위에 2.0 μm 두께의 3C-SiC를 성장시킨 후에 SiC/AIN 박막이 벗겨지는 현상을 보였어서 AIN 위에 3C-SiC를 성장시키기 전에 800 °C와 1100 °C에서 열처리를 행한 후에 AIN의 라만 이동을 조사하였다.

그림 1은 Si 기판위에 증착시킨 AIN 박막에 대해 열처리의 전후에 따른 스펙트럼 변화이다. 특히, 첫째, 열처리 전의 AIN위에 온도에 따라 3C-SiC를 증착시켰고 둘째는 AIN/Si를 800 °C 와 1100 °C에서 열처리를 행한 후, 1180 °C에서 다결정 3C-SiC를 증착시켰다. AIN의 라만 산란은 열처리 전 (658.03 cm<sup>-1</sup>)과 후(659.63 cm<sup>-1</sup>)에 이동한 것을 알 수 있다. 여기서, AIN의 E<sub>2</sub> (high) 포논 모드인 658.03 cm<sup>-1</sup>은 Si 기판을 제외하고 성장한 방법으로 본 연구에서 사용된 AIN 성장 방법과 거의 유사하다[11]. 그러나, 고온 (1600-1800 °C) 및 고압 (8 kbar)에서 성장한 AIN에서는 660 cm<sup>-1</sup> E<sub>2</sub> (high) 포논 모드가 측정되었으며 단결정이었다[12].

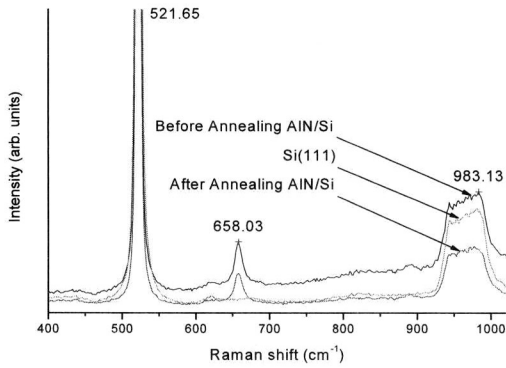


그림 1. Si 기판위에 증착시킨 AlN 박막에 대해 열처리에 대한 라만 스펙트럼.

Fig. 1. Raman spectra on AlN thin films deposited on Si substrate to annealing conditions.

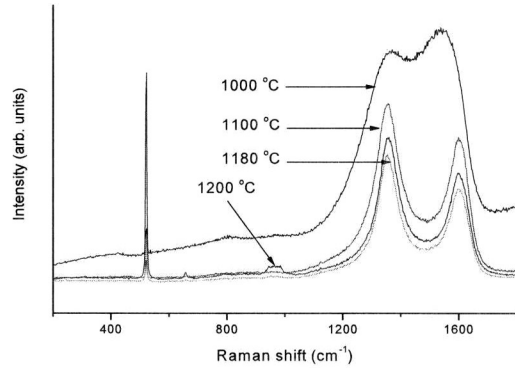


그림 2. 성장온도에 따른 다결정 3C-SiC/AlN의 라만 스펙트럼.

Fig. 2. Raman spectra of poly 3C-SiC/AlN according to growth temperature.

그림 2는 열처리 전의 AlN 위에 온도에 따라 성장한 3C-SiC의 라만 스펙트럼들이다. 1000 °C에 성장한 박막의 라만 스펙트럼에서는 Si와 3C-SiC 라만 정점들이 나타나지 않았고, 비정질 흑연 라만 스펙트럼만 나타났다[13]. 또한, 1000 °C에 성장한 박막에는 탄소층과 같이 표면에 광택이 없고 단지 뿌옇게 나타났다. 그 이유는 비정질 흑연의 높은 흡수계수 ( $\alpha = 5 \times 10^5$ )와 짧은 투과 거리 ( $d = 20$  nm) 때문에 입사광이 이 박막 밑을 투과할 수 없기 때문에 AlN과 Si 기판의 라만 이동들이 나타나지 않았다고 사료된다[14]. 그러나, SiC의 낮은 흡수계수 때문에 1100 °C부터는 모든 라만 정점들이 측정되므로 1100 °C에 증착된 박막은 다결정 3C-SiC임을 알 수가 있다. 또한, 흑연의 D와 G 밴드인 라만 이동들이 명확하게 분리되어 나타나므로 다결정 3C-SiC는 비정질 흑연과 혼합된 것이 아니라 나노탄소와 혼합되어 있는 것으로 확인된다[15]. 1200 °C에서 성장된 3C-SiC/AlN에서는 658.03  $\text{cm}^{-1}$  E<sub>2</sub> (high) 포논 모드가 나타났다. 이것은 열처리가 안 된 AlN위에 3C-SiC를 성장시킨 후에도 그들의 결정구조는 변함이 없다고 추측할 수 있을 것이다. 이러한 이유 때문에 열처리 전의 AlN 위에 2.0  $\mu\text{m}$  3C-SiC가 증착된 후에는 박막이 벗겨지는 현상이 나타난 것이라고 사료된다.

그림 3은 AlN를 800 °C와 1100 °C에서 열처리한 후의 2.0  $\mu\text{m}$  두께의 다결정 3C-SiC에 대한 라만 스펙트럼이다. 다결정 3C-SiC도 나노탄소와 혼합되어 있는 것을 알 수가 있고 3C-SiC의 라만 이동

의 값은 단결정 3C-SiC보다 적은 값을 가지므로 다결정 3C-SiC 특성을 가지고 있다고 사료된다. AlN의 E<sub>2</sub> 포논 모드의 값은 3C-SiC가 증착하기 전의 값보다 증가하여 660.61  $\text{cm}^{-1}$ 에서 라만 정점이 나타났다[12]. 또한, 659.63  $\text{cm}^{-1}$ 에서 660.61  $\text{cm}^{-1}$ 로 증가함은 비록 AlN과 SiC의 격자 부정합이 적을지라도 다결정 3C-SiC와 AlN 사이의 격자 부정합이 다르기 때문에 SiC와 AlN 사이의 계면에서 3C-SiC의 두께에 따라 제 정렬된다고 사료된다. 그리고 증착된 3C-SiC는 AlN을 800 °C나 1100 °C에서 열처리한 후 SiC를 성장한것과 AlN의 라만 이동은 동일하게 이동했다.

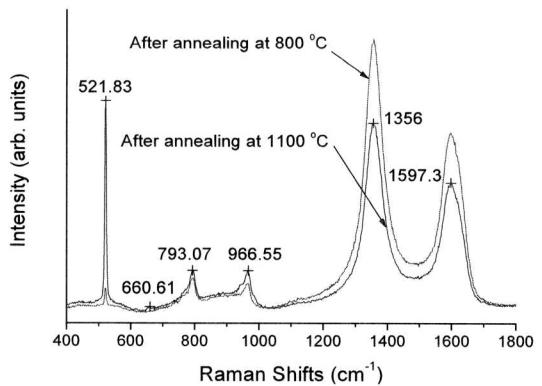


그림 3. 열처리된 AlN 위에 성장된 다결정 3C-SiC의 라만 스펙트럼.

Fig. 3. Raman spectra of poly 3C-SiC deposited on annealed AlN thin films.

모든 3C-SiC 라만 스펙트럼들은 나노탄소 라만 특성인 강한 D와 G 밴드가 나타난다. 표 1은 지금까지 여러 방법과 본 연구에서 성장시킨 3C-SiC의 C/Si 조성비 분석 결과로 전구체와 운반 가스에 대한 C/Si 조성비와 이 비에 대한 성장속도와와의 관계를 알 수 있다. 일반적으로  $\text{SiH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8$ 의 전구체인 경우는 C/Si의 비를 조절할 수 있으므로 C/Si에 대하여 3보다 크면 D와 G 밴드가 나타나는 것을 라만 산란으로 증명하였다. HMDS와 운반 가스가  $\text{H}_2$ 만 있는 경우는 C/Si의 비가 3이므로 성장속도가 좋고 라만 이동에 D와 G 밴드가 나타나는 현상이 없었고[17,20], ( $\text{HMDS} + \text{C}_3\text{H}_8$ )로 전구체를 하고  $\text{H}_2$ 를 운반가스로 했을 때에는 C/Si가 3.5이고 이때는  $7.0 \mu\text{m/hr}$ 라는 더 빠른 성장속도를 얻었다[5]. 그러나, HMDS 전구체와 ( $\text{H}_2 + \text{Ar}$ )를 운반가스로 사용했을 경우에는 비록 C/Si가 3일지라도 Ar 가스가 Si-C결합을 방해하여 성장속도가 순수  $\text{H}_2$ 를 운반가스로 했을 때보다 성장속도가 매우 낮음을 알 수 있다[18,19]. 따라서, ( $\text{H}_2 + \text{Ar}$ )를 운반가스로 사용할 경우에는 안전성에 대한 이점은 있으나 낮은 성장속도와 나노탄소의 함량이 포함되어 있는 것을 알 수가 있다.

따라서, 본 연구에서 성장한 다결정 3C-SiC/AlN와 3C-SiC/SiO<sub>2</sub>에 D와 G 밴드가 뚜렷하게 나타나므로 C/Si의 조성비는 9보다 높을 것이라 사료되고 Ar 가스가 Si-C 결합의 중요한 요소인 가스의 유속을 증가시키며 또한, 단위체적당에 들어 있는 Si-C 양이 적고 Si-C 결합하는 조건보다 C-C 결합을 촉진시킨다고 사료된다. 또한, 표 1에서 APCVD나 LPCVD에 무관하게 C/Si의 조성비가 맞으면 D와 G 밴드가 나타나지 않을 뿐만 아니라 성장속도도 향상됨을 알 수 있다.

AlN위에 성장된 3C-SiC의 기계적 특성을 평가하기 위해 SiO<sub>2</sub>위에 성장시킨 SiC 사이의 양축응력을 3C-SiC/AlN의 양축응력과 비교할 경우[21], SiO<sub>2</sub>위에 성장시킨 SiC의 양축 응력(428 MPa)이 AlN위에 성장시킨 SiC의 값(896 MPa)보다 적음을 알 수가 있다[22]. 따라서, 비록 AlN와 SiC 사이의 격자 부정합이 작다 할지라도 비정질 SiO<sub>2</sub>에 성장한 3C-SiC가 SiO<sub>2</sub> 표면에 흡착된 형태로 성장되었다고 사료되므로 SiO<sub>2</sub>위에 성장한 SiC가 적은 양축 응력을 받기 때문에 열처리가 된 AlN 위보다는 SiO<sub>2</sub>위에 SiC 박막을 성장시켜 MEMS에 응용하는 것이 더 좋을 것이라 사료된다.

표 1. 전구체와 운반가스에 대해 C/Si 조성비 및 성장속도의 관계.

Table 1. Comparisons to precursors and carrier gases on the C/Si ratio and the growth rate.

Authors (year)	Precursors (sccm)	Carrier gases (slm)	Ratio of C/Si	Growth rate ( $\mu\text{m/h}$ )	Temp (C)	Ref.
S. Nishino <i>et al.</i> (1987)	$\text{SiH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8$ (0.3, 0.12)	$\text{H}_2$ (1)	1.43	2.4	1330 APCVD	16
K. Takahashi <i>et al.</i> (1992)	HMDS (0.6)	$\text{H}_2$ (3)	3	4.2	1100 APCVD	17
N. Nordell <i>et al.</i> (1994)	HMDS (10)	4 % $\text{H}_2 + \text{Ar}$ (2)	3	1.2	1200 APCVD	18
C. H. Wu <i>et al.</i> (1996)	HMDS (10)	8 % $\text{H}_2 + \text{Ar}$ (2)	3	0.45	1200 APCVD	19
Y. Chen <i>et al.</i> (1999)	HMDS (0.5)	$\text{H}_2$ (2.5)	3	4.3	1350 APCVD	20
G. Ferro <i>et al.</i> (2003)	$\text{HMDS} + \text{C}_3\text{H}_8$ (1.25, 0.4)	$\text{H}_2$ (10)	3.5	7	1350 APCVD	5
C. Ricciardi <i>et al.</i> (2004)	$\text{SiH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8$ (0.3 - 0.9)	$\text{H}_2$ (1.2)	1 - 9		1000 LPCVD	6
A. Haddad-Adel <i>et al.</i> (2006)	$\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$ (0.5, 1.32)	$\text{H}_2 + \text{CF}_4$ (0.48, $9.010 \times 10^{-5}$ )	2.64		670 PECVD	8
In this work	HMDS	8 % $\text{H}_2 + \text{Ar}$ (2)	3	0.9	APCVD	

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Si(100) 기판위에 실온에서 펄스 마그네트론 스파터로 성장시킨 AlN 박막을 열처리 전과 후에 3C-SiC/AlN 라만 산란의 특성을 성장온도에 따라 분석하였다. 또한, 열처리 전의 AlN위에 성장한 박막에 대해 라만 산란에 대한 분석을 했을 때 1000 °C에서는 비정질 SiC가 형성되지만, 1100 °C 이후로는 나노탄소가 포함하고 있는 다결정 3C-SiC가 형성됨을 알았으며 AlN를 열처리 한 후 1180 °C에서 2.0  $\mu\text{m}$  두께의 3C-SiC를 증착시켜 라만 분석한 결과, 동일하게 3C-SiC에는 나노탄소가 포함되어 있는 것을 알 수 있었다. 이것은 C/Si의 조성비가 3보다 매우 큼을 의미한다.

따라서, HMDS와 운반가스로 (Ar+H<sub>2</sub>)를 사용했을 경우, Ar 가스가 전구체의 C/Si 조성비를 희석시키는 역할을 하므로 C/Si(> 9)의 조성비가 3보다 크게 되므로 다결정 3C-SiC 박막은 나노탄소의 혼합 때문에 AlN과 그 위에 성장한 다결정 3C-SiC 사이의 양축응력이 SiO<sub>2</sub>에 성장한 것보다 더 크므로 라만 분석으로는 AlN를 완충층으로 하여 다결정 3C-SiC를 MEMS에 이용할 경우에 더 많은 양축응력을 고려해야 할 것이라 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업 및 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-D00177).

#### 참고 문헌

- [1] L. Jiang, R. Cheung, J. Hedley, M. Hassan, A. J. Harris, J. S. Burdess, M. Mehregany, and C. A. Zorman, "SiC cantilever resonators with electrothermal actuation", *Sensors & Actuators A*, Vol. 128, p. 376, 2006.
- [2] M. Mehregany and C. A. Zorman, "SiC MEMS: Opportunities and challenges for applications in harsh environments", *Thin Solid Films*, Vol. 355-356, p. 518, 1999.
- [3] S. Nishino, J. A. Powell, and H. A. Will, "Production of large-area single-crystal wafers of cubic SiC for semiconductor devices", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 42, p. 460, 1983.
- [4] A. J. Steckl, C. Yuan, and J. P. Li, "Growth of crystalline 3C-SiC on Si at reduced temperatures by chemical vapor deposition from silacyclobutane", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 63, p. 3847, 1993.
- [5] G. Ferro, J. Gamassel, S. Juillaguet, C. Balloud, E. K. Polychroniadis, Y. Stoemenos, J. Dazord, H. Peyre, Y. Monteil, S. A. Rushworth, and L. M. Smith, "Hexamethyldisilane/propane versus silane/propane precursors: application to the growth of high quality 3C-SiC on Si", *Semicond. Sci. Tech.*, Vol. 18, p. 1015, 2003.
- [6] C. Ricciardi, E. Aimo Boot, F. Giorgis, P. Mandracci, U. M. Meotto, and G. Barucca, "Polycrystalline SiC growth and characterization", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 238, p. 331, 2004.
- [7] C. Ricciardi, F. Giorgis, G. Fanchini, S. Musso, V. Ballarini, E. Bennici, G. Barucca, and A. M. Rossi, "Microstructure analysis on polycrystalline 3C-SiC thin films", *Diamond & Related Mater.*, Vol. 14, p. 1134, 2005.
- [8] A. Haddad-Adel, T. Inokuma, Y. Kurata, and S. Hasegawa, "Optical and structural properties of polycrystalline 3C-SiC films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, p. 181904, 2006.
- [9] T. W. Lee and G.-S. Chung, "Properties of AlN thin films grown on 3C-SiC buffer layer", *Int. Workshops & Tutorials on Electron Devices & Materials EDM 2007*, p. 27, 2007.
- [10] G. S. Chung and K. S. Kim, "Characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin films grown for micro/nano-electromechanical systems by using single-precursor hexamethyldisilane", *J. of the Korean Phys. Soc.*, Vol. 51, p. 1389, 2007.
- [11] V. Luzzi and D. R. Clarke, "Defect and stress characterization of AlN films by Raman spectroscopy", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, p. 241911, 2006.
- [12] P. Perlin, A. Polian, and T. Suski, "Raman-scattering studies of aluminum nitride at high pressure", *Phys. Rev.*, Vol. 47, p. 2874, 1993.

- [13] F. Tuinstra and J. L. Koenig, "Raman spectrum of graphite", J. Chem. Phys., Vol. 53, p. 1126, 1970.
- [14] M. Khaleeq-ur-Rahman, M. S. Rafique, K. Siraj, S. Shahid, M. S. Anwar, and H. Faiz, "Theoretical and experimental comparison of splashing in different materials", 31<sup>st</sup> EPS Conf. on Plasma Phys., Vol. 28G, p. P-2.049, 2004.
- [15] A. C. Ferrari and J. Robertson, "Interpretation of raman spectra of disordered and amorphous carbon", Phys. Rev. B, Vol. 61, p. 14095, 2000.
- [16] S. Nishino, H. Suhara, H. Ono, and H. Matsunami, "Epitaxial growth and electric characteristic of cubic SiC on Silicon", J. Appl. Phys., Vol. 61, p. 4889, 1987.
- [17] K. Takahashi, S. Nishino, and J. Saraie, "Low-temperature growth of 3C-SiC on Si substrate by chemical vapor deposition using Hexamethyldisilane as a source material", J. Electrochem. Soc., Vol. 139, p. 3565, 1992.
- [18] N. Nordell, S. Nishino, J. W. Yang, C. Jacob, and P. Pirouz, "Growth of SiC using hexamethyldisilane in hydrogen-poor ambient", Appl. Phys. Lett., Vol. 64, p. 1647, 1994.
- [19] C. H. Wu, C. Jacob, X. J. Ning, S. Nishino, and P. Pirouz, "Epitaxial growth of 3C-SiC on Si(111) from hexamethyldisilane", J. Cryst. Growth, Vol. 158, p. 480, 1996.
- [20] Y. Chen, K. Matumoto, Y. Nishino, T. Shirafuji, and S. Nishino, "Heteroepitaxial growth of 3C-SiC using HMDS by atmospheric CVD", Mater. Sci. Eng., Vol. B61-62, p. 579, 1999.
- [21] W. L. Zhu, J. L. Zhu, S. Nishino, and G. Pezzotti, "Spatially resolved raman spectroscopy evaluation of residual stresses in 3C-SiC layer deposited on Si substrate with different crystallographic orientations", Appl. Surf. Sci., Vol. 252, p. 2346, 2006.
- [22] 정준호, 정귀상, "APCVD법으로 증착한 3C-SiC 박막의 라만 산란 특성", 전기전자재료학회논문지, 20권, 7호, p. 606, 2007.
- [23] 정귀상, 김강산, 한기봉, "HMDS단일 전구체를 이용한 다결정 3C-SiC 박막 성장", 전기전자재료학회논문지, 20권, 2호, p. 156, 2007.