

다공성실리콘 위의 탄화규소 박막의 증착 및 발광특성

전희준 · 최두진 · 장수경* · 심은덕*

연세대학교 세라믹공학과

*연세대학교 물리학과

(1998년 1월 31일 접수)

Deposition and Photoluminescence Characteristics of Silicon Carbide Thin Films on Porous Silicon

H. J. Cheon, D. J. Choi, S. K. Chang* and E. D. Sim*

Dept. of Ceramic Eng., Yonsei University

*Dept. of Physics, Yonsei University

(Received January 31, 1998)

요 약

다공성실리콘 기판 위에 화학기상증착법(CVD)으로 MTS를 원료로 하여 탄화규소 박막을 증착하였다. XRD 측정결과 증착된 박막은 β 형 탄화규소였으나, 결정화가 완전히 진행되지 못하고 결정질의 탄화규소와 비정질의 탄화규소가 혼합된 형태로 존재하는 것으로 추정되었다. 비정질 탄화규소가 실리콘 위에 탄화규소 증착시 발생하는 큰 격자상수 차이를 감소시켜주는 완충층(buffer layer)의 역할을 하는 것으로 추정된다. 1100°C에서 증착한 시편에서 저온(10 K) PL(photoluminescence) 현상이 관찰되었는데, 결정질 β 형 탄화규소의 PL과 비정질 탄화규소의 PL이 복합적으로 나타났다. 결정질 탄화규소의 PL은 600 nm에 최대 PL peak이 존재하였고, 비정질 탄화규소의 PL은 720 nm 정도에서 최대 PL peak이 존재하는 것으로 관찰되었다. 처음에 존재하던 다공성실리콘 고유의 PL은 소멸하였는데, 이는 증착온도까지 승온하는 과정에서 치밀화 반응이 일어났기 때문인 것으로 생각된다.

ABSTRACT

Silicon carbide (SiC) thin films were deposited on the porous silicon substrates by chemical vapour deposition (CVD) using MTS as a source material. The deposited films were β -SiC with poor crystallinity confirmed by XRD measurement. It was considered that the films showed the mixed characteristics of crystalline and amorphous SiC, where amorphous SiC played a role of buffer layer in interface between as-dep films and Si substrate. The buffer layer reduced lattice mismatch to some extent that generally occurs when SiC films are deposited on Si. The low temperature (10 K) PL (photoluminescence) studies showed two broad bands with peaks at 600 and 720 for the films deposited at 1100°C. The maximum PL peak of the crystalline SiC was observed at 600 nm and the amorphous SiC of 720 nm was also confirmed. PL intensity of the amorphous SiC was smaller than that of the crystalline SiC. PL of porous Si might be disappeared due to densification during heat treatment.

Key words : Porous silicon, Silicon carbide, Thin film, Photoluminescence

1. 서 론

실리콘(Si)은 간접천이형 반도체 물질로 내부 양자 효율이 10^{-4} ~ 10^{-5} 정도로 아주 작고, band gap이 약 1.1 eV의 적외선 영역이어서 광소자 개발에 제약이 큰 물질이다.¹⁾ 이러한 문제점을 극복하기 위하여 실리콘에 불순물을 첨가하거나²⁾ 다중양자우물구조(multi-quantum well

structure) 등을 만들어³⁾ 저온 PL(photoluminescence) 현상을 유도한 예가 있었다.

1990년대 들어 불산(HF) 용액에서 실리콘단결정을 전기화학적으로 식각하여 만든 다공성실리콘(porous silicon)에서 가시광 영역의 강한 상온 PL이 발견되면서 다공성실리콘이 광소자로서 주목받기 시작하였다.⁴⁾ 다공성실리콘은 상온에서도 약 1~10%의 큰 양자 효율을

갖고 있으며, band gap이 1.6~2.0 eV 정도에 해당하여 오렌지빛 또는 붉은빛의 발광 현상을 보여준다.⁵⁾ 그러나, 정확한 발광 기구의 규명, 다공질층의 안정화, 고온 안정성 유지 등의 문제점으로 발광소자에의 응용에 많은 어려움이 있다.

한편, 탄화규소는 높은 열적, 화학적 안정성, 넓은 band gap(2.2~2.8 eV), 높은 electron mobility(800 cm²/Vs), 높은 saturated electron mobility(2.5×10⁷ cm/s) 등의 특성을 갖고 있고, bulk PL 특성을 가지고 있어 고온 반도체 소자재료, 광소자재료로서 각광받고 있어,^{6,7)} 발광 소자로의 응용이 활발히 진행되고 있다. 최근에는 전기화학적인 방법으로 단결정 탄화규소로 다공성탄화규소를 제조하여 PL 및 EL(electroluminescence) 특성을 얻었는데,^{8,9)} 다공성탄화규소는 다공성실리콘보다 band gap이 커서 청색광에 가까운 PL을 얻을 수 있었다.

화학기상증착법(CVD)을 이용하는 탄화규소 박막의 제조는 실리콘 및 탄소(C)를 함유한 원료기체를 이용할 경우, 기상에서 고상으로 반응이 직접 일어나므로, 저온에서 이론밀도에 가까운 치밀한 재료를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 일반적으로 탄화규소를 화학기상증착시킬 때 쓰이는 원료로는 여러 가지가 있지만,^{10,11)} 그 중에서도 MTS(Methyltrichlorosilane, CH₃SiCl₃)의 경우, 실리콘과 탄소의 원료가 한 분자에서 분해되어 나오므로, 그 비율이 1:1 이어서 화학 양론적인 탄화규소 박막 증착에 유리하다.^{14,15)} 그러나, MTS와 같은 Cl을 포함한 원료를 사용하는 경우에는, 증착 과정에서 Cl기(Cl radical)가 형성되어 실리콘 기판을 식각하는 것으로 보고되고 있다.¹⁶⁾

실리콘 위에 탄화규소 박막의 증착은 큰 격자상수 차이(20%)와 열팽창계수 차이(8%)로 인해 탄화공정에 의한 완충층(buffer layer) 형성 없이는 어려운 것으로 알려져 있지만,¹⁷⁾ Chien C. Chur 등은 다공성실리콘의 높은 표면반

응성에 의해 형성된 완충층 때문에 탄화 등의 공정 없이도 1150°C 에서 단결정 탄화규소의 증착이 가능한 것으로 보고하였다.¹⁸⁾ 그러나 다공성실리콘 위에 탄화규소를 증착한 경우 PL 특성에 대한 연구는 아직 보고되지 않았다.

본 연구에서는 CVD 법으로 다공성실리콘 위에 탄화 공정 없이 결정질 탄화규소 박막을 증착하여 미세구조의 변화를 관찰하고, 탄화규소의 PL 특성을 측정하여 단결정 탄화규소의 PL 특성과 비교하였다. 또한 증착 전후의 다공성실리콘의 PL 특성의 파장 및 강도의 변화를 관찰하여 β형 탄화규소/다공성실리콘 구조의 발광소자로의 응용 가능성을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1. 다공성실리콘의 제작

다공성실리콘의 가장 일반적인 제조방법으로 알려진 전기화학적 양극반응에 의해 제조하였다.¹⁹⁾ 식각용액으로는 HF(49%):DI water:ethanol(부피비 1:1:1)의 혼합용액을 사용하였고, ethanol은 젖음성(wetting)을 좋게 하기 위하여 첨가되었다. 전류 밀도와 혼합 식각 시간은 되도록 다공질층을 깊게까지 만들기 위하여 70 mA/cm², 10분으로 정하였다.

다공성실리콘의 기판은 4° off 된 (100) p-type [10~20 Ω cm]의 실리콘 단결정을 사용하였고, 양극의 전극으로 사용하기 위하여 기판 뒷면에 알루미늄(99.99%)을 thermal evaporation 법으로 약 2000 Å 정도 증착 하였다.

다공성실리콘 제조 후, 다공질층 기공내부의 잔류 HF를 완전히 증발시키기 위하여 일주일 동안 상온에서 건조한 후 후속공정을 시행하였다. 다공성실리콘 제조 직후에는 PL강도가 약하다가, 잔류 HF가 증발하는 동안 PL 강도는 점차 증가하여 3~4일 후에는 PL 강도가

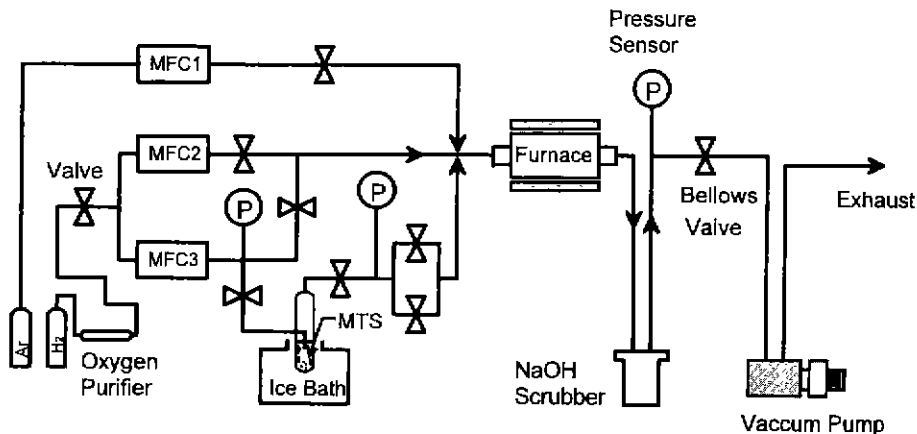


Fig. 1. Schematic diagram of the SiC chemical vapor deposition system.

안정되는 경향을 보였다.

2.2. 탄화규소의 증착

Fig. 1에 탄화규소 증착실험에 사용한 화학증착장치의 모식도를 나타내었다. 본 장치는 hot wall 형의 수평 반응관 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition) system 이다.

탄화규소 증착의 원료 물질로는 실리콘과 탄소의 비가 1:1 이어서 화학 양론적이 되기 용이한 MTS(CH₃SiCl₃; 98%, ACROS)를 사용하였고, 원료를 반응관 내로 운반해주기 위한 운반기체(carrier gas)와 희석기체(dilute gas)로는 H₂를 사용하였으며, 각각 Fig. 1의 MFC 3과 2를 통해 유입되었다. MTS의 증기압을 일정하게 유지하기 위하여 항온조의 온도를 0°C로 유지시킨 후, MTS와 운반기체의 비가 1:1이 되는 항온조 압력인 110 torr 로 맞추어 운반기체를 유입시켰다.²⁰⁾ 원료와 운반 및 희석기체의 비, 즉 MTS:H₂는 1:100 으로 하였고 총유량은 505 sccm (5+500 sccm) 으로 하였고, 그때의 반응관 내 압력은 약 5 torr 였다.

탄화규소의 증착은 900~1300°C 에서 100°C 간격으로 시행하였고, 상온에서 900°C 까지는 2시간 40분 동안 승온하여 900°C 에서 20분 동안 유지하여 안정화시킨 후, 증착온도까지 3.3°C/min 의 승온속도로 승온하여 그 온도에서 10분 동안 증착하였다. 승온과 냉각시 반응관내에 수소를 100 sccm 씩 흘려주어 산화를 방지하였고, 반응관 내 압력은 약 2 torr 였다.

2.3. 특성 조사

증착된 막의 상분석 및 결정성을 측정하기 위하여 XRD(X-ray diffraction; Philips Co, PW1820) 분석을 Ni filtered Cu K_α radiation을 이용하여 30°~80° 범위에서 시행하였다.

막의 미세구조 관찰을 위해 SEM(scanning elec-

tronic microscopy; Hitachi s-2700) 으로 단면과 표면 구조의 변화를 조사하였다.

PL 강도(photoluminescence intensity)의 변화를 측정하기 위해 탄화규소 증착 전후의 다공성실리콘 시편에 대하여 저온(10 K) 에서 442 nm He-Cd laser를 이용하여 PL을 조사하였고, 탄화규소의 발광현상과의 비교를 위하여 Cree社에서 제조한 단결정 탄화규소의 PL도 같은 조건에서 측정하였다. 측정에 사용된 PL 측정장치의 모식도를 Fig. 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 결정성

Fig. 3은 1100°C에서 탄화규소를 증착한 시편의 X선 회절 분석 결과이다. 900~1300°C의 온도범위에서 100°C 간격으로 증착하였으나 1000°C 이하에서는 탄화규소가 거의 증착되지 않았고, 1300°C 에서는 균일핵생성반응(homogeneous reaction)에 의해 불안정한 막이 증착되었다. 1100°C에서 10분 동안 증착한 시편의 XRD 측정 결과, 36° 부근에서 β형 탄화규소(β-SiC)의 (111) 면에 해당하는 peak가 관찰되었다. 그러나, 전체적인 X선 강도(peak intensity)가 작고, broad 하게 나타난 것으로 보아, 결정질 탄화규소만 존재하는 것이 아니고 비정질 탄화규소와 혼합된 형태로 존재하는 것으로 추정된다. 원료로써 MTS를 사용하여 CVD로 graphite 기판 위에 탄화규소를 증착하는 경우, H₂/MTS=100일 경우 1100~1400°C의 온도범위에서 결정질 탄화규소 박막이 증착된다고 보고되었으나,²¹⁾ 본 실험의 경우에는 증착온도가 상대적으로 낮고 탄화규소와 격자상수차이가 큰 다공성실리콘 기판을 사용함으로써, 결정화가 완전하게 진행되지 못하여 비정질 탄화규소와 결정질 탄화규소가 혼합된 형태의 결과를 얻었다고 생각된다.

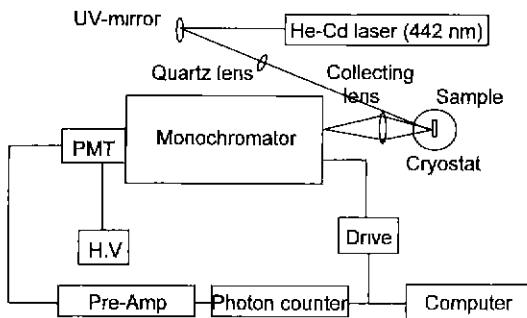


Fig. 2. Schematic diagram of the photoluminescence device with He-Cd laser (442 nm).

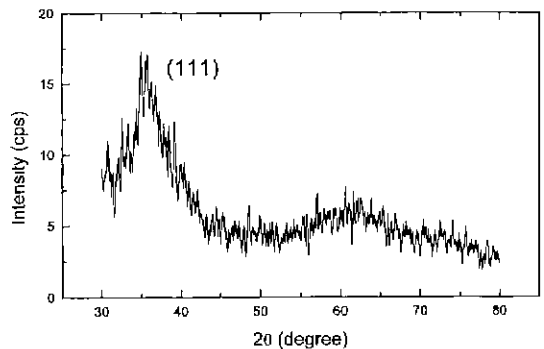


Fig. 3. XRD pattern of SiC film on porous silicon (1100°C, 10 mn, H₂/MTS=100 and 5 torr).

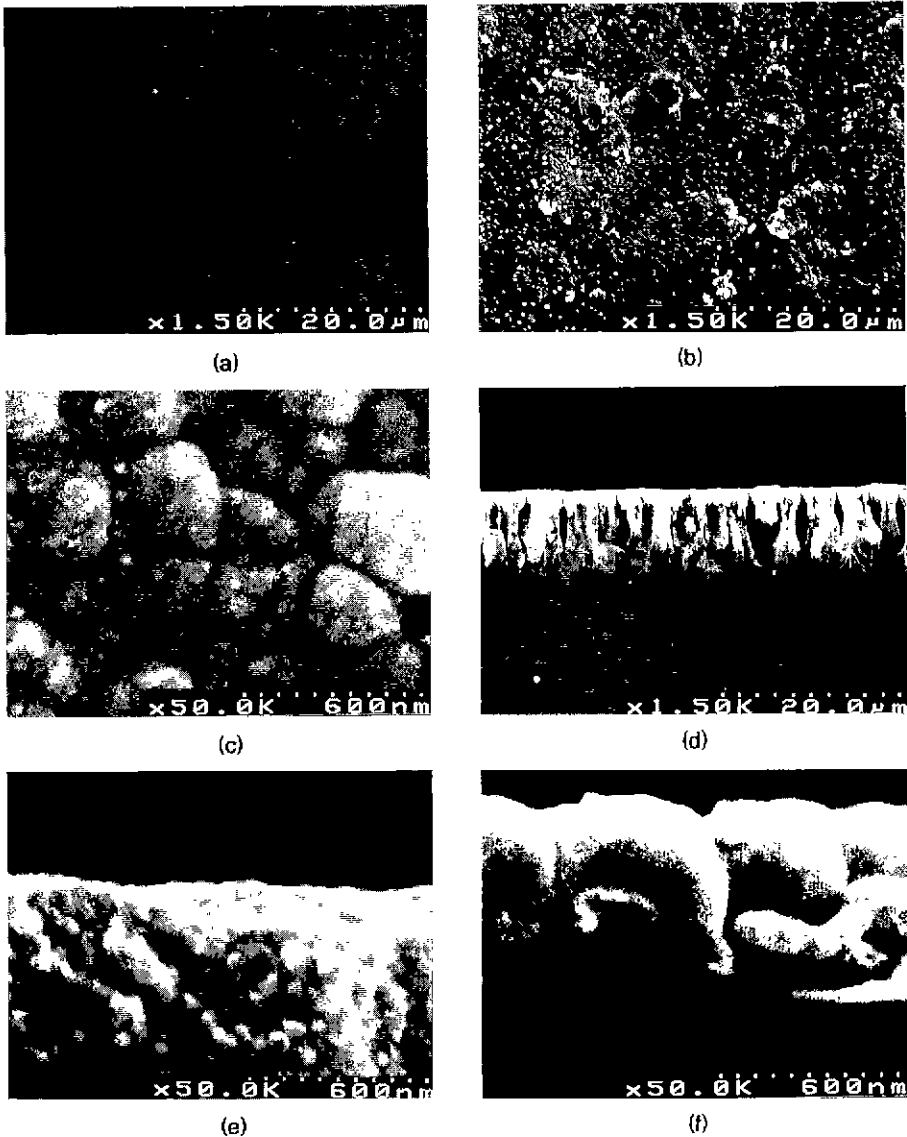


Fig. 4. Cross-section and plan-view of porous silicon (PS) and SiC film on porous silicon by SEM (a) plan-view of PS ($\times 1,500$) (b) plan-view of SiC film ($\times 1,500$), (c) plan-view of SiC film ($\times 50,000$), (d) cross-section of PS ($\times 1,500$), (e) cross-section of PS ($\times 50,000$) and (f) cross-section of SiC film ($\times 50,000$), (1100°C , 10 min, $\text{H}_2/\text{MTS}=100$ and 5 torr)

3.2. 미세구조

다공성실리콘과 탄화규소 증착 후의 미세구조 변화를 관찰하기 위하여 SEM으로 1100°C 에서 탄화규소를 증착한 시편에 대하여 단면과 표면을 조사하여 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4 (a)와 (b)에 탄화규소 증착 전·후의 다공성실리콘의 표면사진($\times 1,500$)을 나타내었는데, (a)에서는 비교적 매끈한 표면이 관찰되었고, (b)에서는 다소 거친

탄화규소 표면이 관찰되었다. Fig. 4 (c)에 고배율로 관찰한 탄화규소 증착후의 표면사진을 나타내었다($\times 50,000$). 증착된 탄화규소 표면에서 직경이 약 200~600 nm 정도 되는 입자들이 관찰되었는데, XRD의 결과로 추정하여 볼 때 결정화가 완전히 진행되지 않은 cluster들이 미세 결정립을 형성하는 것으로 생각된다. CVD로 탄화규소를 증착할 때, 결정화가 진행될 경우 증착된 탄화규소의 미세구조는 granular 형태의 cluster로

부터 반구형태의 결정립으로 성장하며, 온도가 올라갈수록 facet 구조로 변하는 현상²²⁾을 보이기 때문이다. 따라서 이러한 cluster들은 결정질과 비정질의 탄화규소가 혼합된 형태라고 생각된다.

일반적으로 다공성실리콘은 수~수십 nm 정도의 실리콘바늘구조(Si columnar structure)와 10 nm 미만의 직경을 갖는 기공이 스펀지와 같이 얽혀있는 구조로 이루어져있고,²³⁾ 이 다공질층은 두 층으로 나누어지는데, 보다 미세한 상층부에서 발광현상이 일어나는 것으로 보고되고 있다.²⁴⁾ 이러한 다공성실리콘의 구조를 관찰하기 위하여 단면사진을 관찰하였다. Fig. 4 (d)에 다공성실리콘의 단면사진을 나타내었는데 ($\times 1,500$), 식각이 약 12 μm 정도의 깊이까지 진행되었고, 보통의 다공성실리콘의 경우^{21,19)}보다 상당히 큰 크기의 기공들이 존재하는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 발광의 원인이 되는 기공은 이러한 큰 크기의 기공들이 아니고 표면 상층부에 존재하는 미세한 기공들이므로, 다공성실리콘의 상층부를 고배율($\times 50,000$)로 관찰하여 Fig. 4 (e)에 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 미세기공들을 정확하게 관찰할 수는 없었지만, 다공성실리콘의 상층부는 다공질 구조를 가짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 4 (f)는 탄화규소 증착 후의 단면사진인데 ($\times 50,000$), Fig. 4 (c)에서 본 것과 같이 직경이 약 500 nm 정도 되는 탄화규소 cluster들을 관찰할 수 있었다. 증착된 박막의 두께는 약 600 nm 정도 되었고, Fig. 4 (e)와 비교하여 탄화규소층 아래 다공성실리콘 부분이 더 치밀해진 것을 관찰할 수 있었는데, 다공성실리콘의 표면적 값이 크고 불안정한 구조를 가짐으로 인하여 승온 및 증착시 고온에서 유지되므로 소결과 유사한 치밀화 반응이 일어났기 때문인 것으로 추정된다.¹⁹⁾

본 실험의 다공성실리콘 위에 증착된 탄화규소 박막의 계면은 같은 조건으로 실리콘 wafer 위에 결정질 탄화규소를 증착한 경우²⁵⁾와 비교하여 볼 때, 증착된 막과 실리콘 기판에서 형성되는 다공성의 구조가 형성되지 않고 비교적 평탄하고 안정한 계면을 가짐을 관찰할 수 있었는데, XRD 분석 결과에서 확인한, 증착중에 형성된 비정질의 탄화규소가 완충층(buffer layer)의 역할을 하여, 실리콘 위에 탄화규소 막을 증착할 때 나타나는 실리콘과 탄화규소간의 격자상수 차이(20%)를 어느 정도 완충시켜주고 있는 것으로 추정된다.

3.3. PL특성

PL 특성의 변화를 측정하기 위해 다공성실리콘과 탄화규소 단결정, 탄화규소 증착후의 시편의 PL을 저온(10 K)에서 측정하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5 (a)는 비교를 위해 측정한 다공성실리콘과 탄

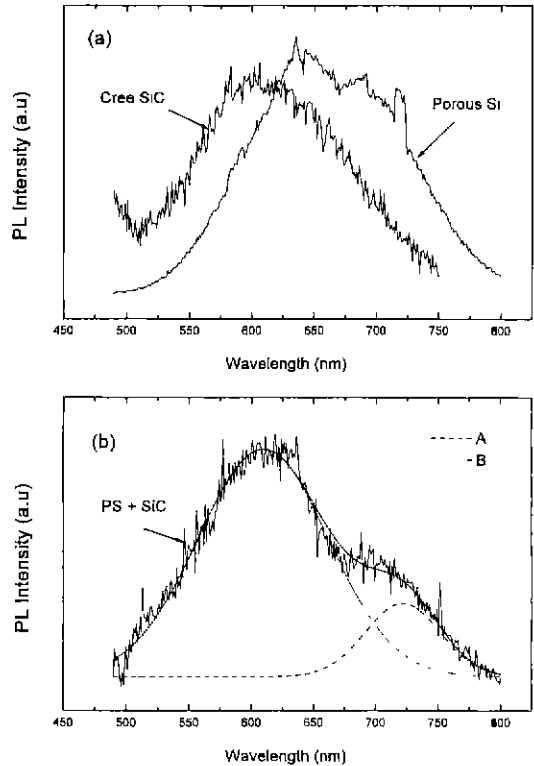


Fig. 5. PL spectra of (a) porous Si and Cree SiC (b) SiC film on porous Si [1100°C , 10 min, $\text{H}_2/\text{MTS}=100$ and 5 torr].

화규소 단결정의 PL 특성인데, 각각 약 650 nm, 600 nm 정도에서 최대 PL peak을 갖고, 이는 약 1.8~2.0 eV, 2.1 eV에 해당하는 energy band gap으로, 일반적으로 보고되는 값들과 대체적으로 일치한다.^{6,8)}

Fig. 5 (b)는 1100°C 에서 다공성실리콘 위에 증착한 탄화규소 시편의 저온(10 K) PL 측정 결과인데, PL 곡선 두 개가 합쳐진 형태로 분석되었다. 두 곡선을 각각 A, B라고 하였을 때, B곡선은 단결정 탄화규소에 의한 PL 곡선과 최대 PL peak(약 600 nm)와 파장에 따른 상대적인 강도가 비슷한 경향을 나타내었다. 앞에서 언급한 바와 같이 증착된 탄화규소는 비정질상도 존재하는 것으로 추정되는데, 비정질 탄화규소 박막이 약 1000 Å 정도의 두께를 가질 때 약 720 nm와 900 nm 부근에서 PL peak을 갖는 것으로 보고²⁶⁾ 된 것으로 보아, A곡선은 비정질 탄화규소의 720 nm peak인 것으로 생각된다. A곡선은 다공성실리콘에 의한 PL 곡선이 열차리에 따라 적색편이 한 것으로도 생각할 수도 있으나, 다공성실리콘의 발광원인을 양자구속효과에 의한 발광이라고 가정할 때, 다공질층 상층부의 실리콘바늘구조가 가늘어질수록 양자에너지가 증가하고 PL peak이 청색편이

하는 것으로 알려져있고,¹⁾ 열처리를 해줌에 따라 소결과 유사한 반응이 일어나 실리콘바늘구조의 두께(width)가 두터워지면서 PL 곡선의 주파장대가 적색편이 하고 PL 강도가 점차 감소하다가 600°C 이상에서는 사라지는 현상을 보이는 것으로 보고되었다.¹⁰⁾ 따라서 본 실험의 증착온도가 600°C 보다 훨씬 높은 온도인 1100°C 이므로 다공성실리콘에 의한 PL은 소멸되었다고 생각된다. 본 실험에서 β 형 탄화규소/다공성실리콘 구조의 발광효과를 확인해 보려고 하였으나 고온 β 형 탄화규소 증착에 따른 다공성실리콘의 치밀화 때문에 두 층에서의 PL을 동시에 관찰할 수는 없었다.

4. 결 론

탄화규소의 PL 특성을 얻기 위하여 다공성실리콘 위에 탄화규소 막을 증착하여 특성을 조사하였다. 900~1300°C의 온도범위에서 증착을 하였는데, 이들 중 1100°C에서 증착된 막에서 PL 특성이 관찰되었고, 증착된 탄화규소 박막의 두께는 약 600 nm 정도 되었다. X선 회절 분석한 결과, β 형 탄화규소의 (111) 면에 해당하는 peak가 관찰되었지만, 전체적인 X선 강도가 작고 broad 하였는데, 이는 비정질 탄화규소가 형성되어 결정질 탄화규소와 혼합된 형태로 존재하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 다공성실리콘 기판과 증착된 막과의 계면은 실리콘 wafer에 증착한 경우와 비교하여 안정한편이었는데, 비정질 탄화규소가 실리콘과 탄화규소간의 격자상수 차이를 어느 정도 완충시켜주는 완충층(buffer layer)의 역할을 하는 것으로 추정된다. 한편, 광학적 특성을 조사하기 위하여 저온에서 PL을 측정한 결과, PL 곡선은 결정질과 비정질 탄화규소 두 개의 PL 곡선이 혼합된 형태로 나타났다. 증착된 결정질(β 형) 탄화규소에 의한 PL 곡선은 최대 PL peak이 600 nm 정도에 존재하였는데 이는 탄화규소 단결정에 의한 PL과 정확히 일치하였고, 비정질 탄화규소에 의한 PL 곡선은 최대 PL peak이 720 nm 정도에 존재하였다. 처음에 존재하던 다공성실리콘 고유의 PL은 증착온도(1100°C) 까지 승온하는 과정에서 열처리에 의한 효과로 소결과 유사한 치밀화 반응이 일어나 다공질층 상층부의 실리콘바늘구조의 두께(width)가 두터워졌기 때문에 강도가 서서히 감소하다가 소멸한 것으로 생각된다. 따라서 β 형 탄화규소와 다공성실리콘의 발광효과를 동시에 관찰할 수는 없었다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 핵심전문 연구비 지원(과제번호:

961-0802-020-2)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. R. L. Smith and S. D. Collins, "Porous Silicon Formation Mechanisms," *J. Appl. Phys.*, **71**, R1 (1992).
2. K. H. Jung, S. Shih and D. L. Kwong, "Developments in Luminescent Porous Si," *J. Electrochem. Soc.*, **140**, 3046 (1993).
3. R. T. Collins, M. A. Tischler and J. H. Stathis, "Photoinduced Hydrogen Loss from Porous Silicon," *Appl. Phys. Lett.*, **61**, 1649 (1992).
4. L. T. Canham, "Silicon Quantum wire Array Fabrication by Electrochemical and Chemical Dissolution of Wafers," *Appl. Phys. Lett.*, **57**, 1046 (1990).
5. K. H. Jung, S. Shih, T. Y. Hsieh and D. L. Kwong, "Intense Photoluminescence from Laterally Anodized Porous Si," *Appl. Phys. Lett.*, **59**, 3264 (1991).
6. K. Ikoma, M. Ymanaka, H. Yamaguchi and Y. Schichi, "Heteroepitaxial Growth of β -SiC on Si (111) by CVD Using a $\text{CH}_2\text{Cl-SiH}_4\text{-H}_2$ Gas System," *J. Electrochem. Soc.*, **138**, 3208 (1991).
7. Bishop, J. A. and Freitas Jr., "Photoluminescence Characterization of Cubic SiC Grown by Chemical Vapor Deposition on Si Substrates," *J. Crystal Growth*, **106**, 38 (1990).
8. V. Petrova-Koch, O. Sreseli, G. Polisski, D. Kovalev, T. Muschik and F. Koch, "Luminescence Enhancement by Electrochemical Etching of SiC (6H)," *Thin Solid Films*, **255**, 107 (1995).
9. Takahiro Matsumoto, Jun Takahashi, Teruyuki Tamaki, Yoshiro Futaki and Hidenori Mimura, "Blue-green Luminescence from Porous Silicon Carbide," *Appl. Phys. Lett.*, **64** (2), 226 (1994).
10. Sheldon et al., "Epitaxial Nucleation of Polycrystalline Silicon Carbide During Chemical Vapor Deposition," *J. Mater. Res.*, **8**, 1086 (1993).
11. T. Takahashi, K. Hagiwara, Y. Egashira and H. Komiyama "The Effect of Gas-phase Additives C_2H_4 , C_2H_6 and on SiH_4/O_2 Chemical Vapor Deposition," *J. Electrochem. Soc.*, **143**, 1355 (1996).
12. Nordell, S. Nishino, et al, "Influence of H_2 Addition and Growth Temperature on CVD of SiC Using Hexamethyldisilane and Ar," *J. Electrochem. Soc.*, **142**(2), 565 (1995).
13. R. Rodrigues-Clemente, A. Figureas, S. Garelik, B. Armas and C. Combescure "Influence of Temperature and Tetramethylsilane Partial Pressure on the β -SiC Deposition by Cold wall CVD," *J. Crystal Growth*, **125**, 533 (1992).
14. Chien C. Chiu and Seshu B. Desu, "Low Pressure chemical Vapor Deposition (LPCVD) of β -SiC on Si (100) Using MTS in a Hot wall Reactor," *J. Mater. Res.*, **8**(10), 2617 (1993).

15. S. V. Sotirchos and G. D. Papasouliotis, "Kinetic Modeling of the Deposition of SiC from Methyltrichlorosilane." *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **250**, 35 (1992).
16. A. Josiek, F. Langlais, "Residence-time Dependent Kinetics of CVD Growth of SiC in the MTS/H₂ system," *J. Crystal Growth*, **160**, 253 (1996).
17. G. L. Harris and C. Y. W. Yang, Amorphous and Crystalline Silicon Carbide, Proceeding of 1st International Conference Wasington DC, Dec., pp.2~12, (1987).
18. Chien C. Chiu et al, "Deposition of epitaxial -SiC Films on Porous Si (100) from MTS in a hot wall LPCVD Reactor," *J Mater. Res.*, **10** (5) 1099 (1995).
19. 최두진, 서영제, 전희준, 박홍이, 이덕희, "다공성실리콘의 탄화물 이용한 PL의 열적안정성 증진," *요업학회지*, **34**(5), 467 (1997)
20. Klaus K. Schucgraf, Hand book of Thin Film Deposition Press and Technique, pp.241, Noyes Publication (1988).
21. M G. So, "A Study on Deposition Mechanism and Mechanical Property of Silicon Carbide Layer by CVD," Ph. D Thesis, KAIST (1987).
22. 김한수, "회석기체에 따른 화학증착 탄화규소의 성장 거동 및 특성," 석사학위논문, 연세대학교 (1997).
23. V. P. Parkhutik, J. M. Albella and J. M. Martinez-Duart, "Different Types of Pore Structure in Porous Silicon," *Appl. Phys Lett.*, **62**, 366 (1993).
24. A. Basiesy, F. Gaspard, R Herino, M. Ligeon and F. Muller, "Anodic Oxidation of Porous Silicon Layers Formed on Lightly P-doped Substrates," *J. Electrochem. Soc.*, **138**, 3450 (1991).
25. 최두진, 김준우, "MTS를 사용한 LPCVD법에 의한 (100) Si 위의 -SiC 증착 및 계면특성," *요업학회지*, **34**(8), 825 (1997)
26. S. Ghosh, P. Bhattacharya and D. N. Bose, "Strong Photoluminescence in Ammonia Plasma Treated Amorphous-SiC thin Films Deposited by Laser Ablation," *Appl Phys. Lett.*, **68**(21), 2979 (1996).